

**TUGAS AKHIR - RF141501**

**PERHITUNGAN PARAMETER DINAMIS DAN  
PROFILING TANAH MENGGUNAKAN  
MULTICHANNEL ANALYSIS OF SURFACE WAVE  
(MASW) DAN SEISMIK REFRAKSI STUDI KASUS  
SURABAYA BARAT**

**HUSNIA NUR ANNISA  
NRP 03411440000037**

**Dosen Pembimbing I  
Dr. Dwa Desa Warnana  
NIP. 19760123 200003 1001**

**Dosen Pembimbing II  
Juan Pandu G N R, S.Si, M.T.  
NIP. 19890612 201504 1003**

**DEPARTEMEN TEKNIK GEOFISIKA  
Fakultas Teknik Sipil Lingkungan Dan Kebumihan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya  
2018**





**TUGAS AKHIR - RF141501**

**PERHITUNGAN PARAMETER DINAMIS DAN *PROFILING*  
TANAH MENGGUNAKAN *MULTICHANNEL ANALYSIS*  
*OF SURFACE WAVE (MASW)* DAN SEISMIK REFRAKSI  
STUDI KASUS SURABAYA BARAT**

HUSNIA NUR ANNISA  
NRP 03411440000037

Dosen Pembimbing I  
Dr. Dwa Desa Warnana  
NIP. 19760123 200003 1001

Dosen Pembimbing li  
Juan Pandu G N R, S.Si, M.T.  
NIP. 19890612 201504 1003

DEPARTEMEN TEKNIK GEOFISIKA  
Fakultas Teknik Sipil Lingkungan Dan Kebumian  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya  
2018

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***



**UNDERGRADUATE THESIS - RF141501**

**DYNAMIC PARAMETER MEASUREMENT AND SOIL  
PROFILING USING MULTICHANNEK ANALYSIS OF  
SURFACE WAVE (MASW) AND SEISMIC REFRACTION  
CASE STUDY: WEST SURABAYA**

HUSNIA NUR ANNISA  
NRP 03411440000037

Lecturer Advisors I:  
Dr. Dwa Desa Warnana  
19760123 200003 1001

Lecturer Advisors II:  
Juan Pandu G N R, S.Si, M.T.  
19890612 201504 1003

GEOPHYSICAL ENGINEERING DEPARTMENT  
Faculty Of Civil Environment And Geo Engineering  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya  
2018

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***

**PERHITUNGAN PARAMETER DINAMIS DAN PROFILING TANAH  
MENGUNAKAN MULTICHANNEL ANALYSIS OF SURFACE WAVE  
(MASW) DAN SEISMIK REFRAKSI STUDI KASUS SURABAYA  
BARAT**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
Pada  
Departemen Teknik Geofisika  
Fakultas Teknik Sipil Lingkungan dan Kebumihan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Surabaya, 31 Juli 2018

Menyetujui,

1. Dr. Dwa Desa Warnana (Pembimbing I)  
NIP. 19760123 200003 1 001
2. Juan Pandu Gya Nur Rochman, S.Si., M.T (Pembimbing II)  
NIP. 19890612 201504 1 003
3. Dr. Widya Utama, DEA (Penguji I)  
NIP. 19611024 198803 1 001
4. M. Haris Miftakhul Fajar, S.T., M. Eng (Penguji II)  
NIP. 19890208 201804 1 001

Mengetahui,

Kepala Laboratorium Geofisika Teknik dan Lingkungan  
Departemen Teknik Geofisika  
Fakultas Teknik Sipil Lingkungan dan Kebumihan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Dr. Ir. Amien Widodo, M.Si.  
NIP. 19591010 198803 1002

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***



# **PERHITUNGAN PARAMETER DINAMIS DAN PROFILING TANAH MENGGUNAKAN *MULTICHANNEL ANALYSIS OF SURFACE WAVE (MASW)* DAN SEISMIK REFRAKSI STUDI KASUS SURABAYA BARAT**

Nama Mahasiswa : Husnia Nur Annisa  
NRP : 03411440000037  
Departemen : Teknik Geofisika FTSLK-ITS  
Dosen Pembimbing : Dr. Dwa Desa Warnana, S.Si, M.Si  
: Juan Pandu G N R, S.Si, MT

## **ABSTRAK**

Parameter dinamis batuan yang selama ini didapatkan dari data bor sebenarnya dapat diperoleh menggunakan pendekatan metode geofisika yaitu seismik refraksi dan MASW dengan biaya operasional yang ekonomis. Seismik refraksi digunakan untuk mengetahui kecepatan gelombang P ( $V_p$ ), sedangkan MASW digunakan untuk mengetahui kecepatan gelombang geser ( $V_s$ ) yang merupakan nilai yang dibutuhkan dalam perhitungan parameter dinamis. Akuisisi data dilakukan di Surabaya Bagian Barat pada 23 titik yang tersebar di setiap formasi. Parameter akuisisi pada penelitian kali ini dengan panjang lintasan 102 meter, 24 *receiver*, 5 *shot*, *sampling time* 2 detik dan *stacking* 3 pukulan. Data yang didapatkan dari akuisisi kemudian diolah untuk mendapatkan nilai  $V_p$  dan  $V_s$  untuk menghitung parameter dinamis (*poisson ratio*, modulus geser dan modulus elastisitas) dan dilanjutkan dengan pemodelan 3D. Ketepatan dalam melakukan *picking firstbreak* pada seismik refraksi dan *picking* kurva dispersi pada MASW saat pengolahan sangat penting untuk mendapatkan hasil yang sesuai. Hasil menunjukkan bahwa di wilayah utara memiliki nilai parameter dinamis yang lebih rendah daripada wilayah selatan yaitu  $V_p$  471-950 m/s,  $V_s$  78.78-465.74 m/s, *poisson ratio* 0.23-0.48, modulus geser 8.71-333.25 Mpa dan modulus elastisitas 25.77-819.96 Mpa. Sedangkan di wilayah selatan memiliki nilai yang lebih tinggi daripada wilayah utara dengan nilai  $V_p$  656.11-2019.08 m/s,  $V_s$  107.85-629.25 m/s, *poisson ratio* 0.37-0.49, modulus geser 17.74-942.8 Mpa dan modulus elastisitas 52.5-2289.83 Mpa. Dari nilai-nilai tersebut menunjukkan bahwa pada wilayah utara lapisan keras ada pada kedalaman lebih dari 35 meter sedangkan pada wilayah selatan lapisan keras ada pada kedalaman 20 meter.

Kata Kunci: MASW, Parameter Dinamis, Seismik Refraksi, Surabaya Barat

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***

# **DYNAMIC PARAMETER MEASUREMENT AND SOIL PROFILING USING MULTICHANNEK ANALYSIS OF SURFACE WAVE (MASW) AND SEISMIC REFRACTION CASE STUDY: WEST SURABAYA**

Student Name : Husnia Nur Annisa  
NRP : 03411440000037  
Departement : Teknik Geofisika FTSLK-ITS  
Advisors : Dr. Dwa Desa Warnana, S.Si, M.Si  
: Juan Pandu G N R, S.Si, MT

## **ABSTRACT**

Dynamic parameters of rock that have been obtained from the actual drill data can be obtained using the geophysical method approach that are seismic refraction and MASW with economical operational cost. Refraction seismic is used to find out the velocity of P wave ( $V_p$ ), while MASW is used to know the shear wave velocity ( $V_s$ ) which is the required value in dynamic parameter calculation. Data acquisition is done in West Surabaya at 23 points spread over each formation. Acquisition parameters in this study used a length of 102 meters, 24 receivers, 5 shots, sampling time 2 seconds and stacking 3 strokes. The data obtained from the acquisition is processed to obtain  $V_p$  and  $V_s$  values for dynamic parameters calculations (poisson ratio, shear modulus, and elastic modulus) and followed by 3D modeling. The precision of picking firstbreak seismic refraction and picking dispersion curve on MASW during processing is very important to get the appropriate result. The results show that in the North region has a lower dynamic parameter value than the South that are  $V_p$  471-950 m / s,  $V_s$  78.78-465.74 m / s, poisson ratio 0.23-0.48, shear modulus 8.71-333.25 Mpa and modulus elasticity 25.77-819.96 Mpa. While in the South has a higher value than the North with  $V_p$  value 656.11-2019.08 m / s,  $V_s$  107.85-629.25 m / s, poisson ratio 0.37-0.49, shear modulus 17.74-942.8 Mpa and modulus of elasticity 52.5-2289.83 Mpa. From those values indicate that in the northern region has hard layer at a depth of more than 35 meters while in the southern region has the hard layer at a depth of 20 meters.

*Keywords: Dynamic Parameter, MASW, Seismic Refraction, West Surabaya*

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kepada Allah SWT karena atas rahmat-Nya sehingga laporan Tugas Akhir dengan judul “Perhitungan Parameter Dinamis dan *Profiling* Tanah Menggunakan *Multichannel Analysis of Surface Wave* dan Seismik Refraksi Studi Kasus Surabaya Barat”.

Pelaksanaan dan penyusunan Laporan Tugas Akhir ini tidak terlepas dari bimbingan, bantuan, dan dukungan berbagai pihak. Pada kesempatan ini, saya mengucapkan terima kasih kepada:

1. Mama, Mbak Vita, Ria , Mas Heru, Ifa, Nana dan semua keluarga atas dukungan yang sangat besar selama penulis menjalani Tugas Akhir ini.
2. Bapak Dr. Dwa Desa Warnana dan Juan Pandu G N R, S.Si, MT selaku pembimbing.
3. Seluruh dosen dan pegawai administrasi Departemen Teknik Geofisika ITS yang telah banyak memberikan ilmu selama penulis melakukan studi di Departemen Teknik Geofisika ITS.
4. Seluruh Tim MASW (Vien, Fani, Novritsa, Anto) yang selalu menemani dan mendukung penulis selama pengerjaan Tugas Akhir ini.
5. Teman-teman Teknik Geofisika ITS angkatan 2014 atas dukungannya.
6. Semua pihak yang tidak dapat dituliskan satu per satu oleh penulis, terima kasih banyak atas doa dan dukungannya.

Semoga Allah membalas semua kebaikan semua pihak. Penulis menyadari tentunya penulisan Tugas Akhir ini masih banyak kekurangan. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan. Semoga Tugas Akhir ini membawa manfaat bagi penulis pribadi maupun bagi pembaca.

Surabaya, 31 Agustus 2018

Husnia Nur Annisa

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***

## PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan judul **“Perhitungan Parameter Dinamis dan Profiling Tanah Menggunakan *Multichannel Analysis of Surface Wave* dan Seismik Refraksi Studi Kasus Surabaya Barat”** adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka.

Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, 31 Juli 2018



Husnia Nur Annisa

NRP. 03411440000037

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***



# DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN .....	v
ABSTRAK.....	vii
ABSTRACT.....	ix
KATA PENGANTAR.....	xi
PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR.....	xiii
DAFTAR ISI.....	xv
DAFTAR GAMBAR.....	xvii
DAFTAR TABEL .....	xix
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	3
2.1 Geologi Regional Surabaya .....	3
2.1.1 Stratigrafi .....	3
2.2 Jenis-Jenis Gelombang Seismik .....	5
2.2.1 Gelombang Badan ( <i>Body Waves</i> ) .....	5
2.2.2 Gelombang Permukaan ( <i>Surface Wave</i> ) .....	6
2.3 Metode MASW ( <i>Multichannel Analysis of Surface Wave</i> ) .....	7
2.3.1 Pengolahan Data .....	8
2.3.2 Inversi.....	9
2.4 Seismik Refraksi .....	10
2.5 Parameter Dinamis .....	12
2.5.1 <i>Poisson ratio</i> .....	13
2.5.2 Modulus Geser .....	14
2.5.3 Modulus Elastisitas.....	14

2.6 Penelitian Sebelumnya Mengenai Pemetaan Surabaya .....	15
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>17</b>
3.1 Data dan Perangkat Lunak .....	17
3.1.1 Data.....	17
3.1.2 Perangkat Lunak .....	18
3.2 Alur Penelitian.....	18
3.3 Alur Akuisisi Data .....	23
3.4 Alur Pengolahan Data .....	23
3.4.1 Pengolahan Data MASW .....	23
3.4.2 Pengolahan Refraksi .....	30
<b>BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>33</b>
4.1 Analisa Data .....	33
4.2 Hasil pengolahan .....	34
4.2.1 Hasil Pengolahan MASW .....	34
4.3 Analisa Geoteknik .....	47
<b>BAB V KESIMPULAN .....</b>	<b>49</b>
5.1 Kesimpulan.....	49
5.2 Saran .....	49
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>51</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>	<b>56</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Peta Geologi Surabaya (Sukardi, 1992) .....	4
Gambar 2. 2 Gelombang Rayleigh (sumber: <a href="http://web.ics.purdue.edu/~braile/edumod/slinky/slinky.htm">http://web.ics.purdue.edu/~braile/edumod/slinky/slinky.htm</a> ) .....	6
Gambar 2. 3 Gelombang Love (sumber: <a href="http://web.ics.purdue.edu/~braile/edumod/slinky/slinky.htm">http://web.ics.purdue.edu/~braile/edumod/slinky/slinky.htm</a> ) .....	7
Gambar 2. 4 Tahap pengolahan data MASW (Xia dkk, 2003).....	9
Gambar 2. 5 Profil Vs 1-D hasil inversi dari kurva dispersi (Sholihan, 2009) ..	10
Gambar 2. 6 Pembiasan dengan sudut kritis (Telford dkk., 1976) .....	11
Gambar 2. 7 Peta sebaran nilai VS30 wilayah Surabaya (Mufida, 2013) .....	16
Gambar 3. 1 Peta lokasi titik pengukuran.....	17
Gambar 3. 2 Alur Penelitian Secara Umum .....	19
Gambar 3. 3 Alur pengolahan data MASW .....	21
Gambar 3. 4 Alur pengolahan data seismik refraksi .....	22
Gambar 3. 5 Data Line 2B Shot 1 .....	24
Gambar 3. 6 Filtering bandpass dengan seisee .....	24
Gambar 3. 7 Contoh data line 2B shot 1 setelah dilakukan filtering pada seisee .....	25
Gambar 3. 8 Gambar data pada Software Inversi MASW .....	26
Gambar 3. 9 Gambar trace setelah dilakukan picking surface wave .....	26
Gambar 3. 10 Input parameter model formasi alluvium .....	27
Gambar 3. 11 Picking fundamental mode .....	28
Gambar 3. 12 <i>Picking fundamental mode</i> frekuensi 1-5 Hz.....	28
Gambar 3. 13 Hasil inversi .....	29
Gambar 3. 14 Hasil nilai Vs dan ketebalan masing-masing lapisan .....	29
Gambar 3. 15 input geometri pada zondST2D .....	30
Gambar 3. 16 <i>Picking Firstbreak</i> .....	31
Gambar 3. 17 Hasil Inversi Vp .....	31
Gambar 4. 1 Contoh <i>trace</i> seismik hasil akuisisi.....	33
Gambar 4. 2 Hasil pemodelan 3D parameter dinamis arah timur selatan dan utara barat .....	38
Gambar 4. 3 Basemap crosssection untuk penampang 2D.....	38
Gambar 4. 4 Penampang crosssection 1-1' .....	39
Gambar 4. 5 Penampang 2D crosssection 2-2' .....	43
Gambar 4. 6 Penampang 2D cross section 3-3' .....	45

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***

## DAFTAR TABEL

Tabel 2 1 Klasifikasi Tanah sesuai Eurocode 8 .....	7
Tabel 2 2 Tipe material berdasarkan nilai poisson ratio ((Davidovici, 1985) ..	13
Tabel 4. 1 Perbedaan hasil MASW berdasarkan jenis geologi .....	34
Tabel 4. 2 Perbedaan hasil seismik refraksi berdasarkan jenis geologi .....	35
Tabel 4. 3 Perbedaan hasil nilai parameter dinamis berdasarkan jenis geologi	36

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Dalam dunia geoteknik dibutuhkan penilaian kondisi bawah permukaan dangkal yang diperlukan untuk mengkarakterisasi heterogenitas permukaan dari tanah seperti dalam perencanaan pondasi. Aspek penting dari penyelidikan pondasi adalah identifikasi kedalaman ke lapisan yang kompeten yang dapat mendukung beban yang ditransfer oleh pondasi. Penilaian yang dapat dilakukan adalah dengan menghitung parameter dinamis seperti *poisson ratio*, modulus geser dan modulus elastisitas untuk mengetahui karakter lapisan tanah (Pegah and Liu, 2016). Michael (2006) menunjukkan bahwa metode gelombang seismik dapat memberikan karakterisasi permukaan bawah tanah yang efektif untuk aplikasi teknik geoteknik. Metode seismik memiliki keunggulan kualitas data yang bagus, biaya rendah dan proses yang cepat dibandingkan dengan data bor (Gorstein dan Ezersky, 2015). Pada penelitian ini, dua metode seismik dangkal digunakan untuk mendapatkan profil kecepatan gelombang P dan gelombang S. Informasi kecepatan gelombang P ditentukan oleh survei seismik refraksi dan profil kecepatan gelombang S ditentukan oleh survei *Multichannel Analysis of Surface Waves* (MASW) (Pegah and Liu, 2016).

Metode Seismik Refraksi merupakan jenis Metode Geofisika yang dapat digunakan untuk mengetahui litologi yang relatif dangkal. Prinsip utama Metode Seismik Refraksi adalah penerapan waktu tiba pertama gelombang (*firstbreak time*) (Abubakar dkk, 2015). Metode seismik refraksi juga dapat diaplikasikan untuk mendapatkan lapisan atau struktur geologi yang dangkal seperti yang sudah dilakukan di area prospek panas bumi Seulawah Agam (Kiswarasari, P. 2013). Sedangkan Metode MASW adalah metode dengan pengukuran utamanya memanfaatkan langsung gelombang permukaan. Gelombang yang dihasilkan berupa penjalaran gelombang Rayleigh (Rusydy, 2016). Data yang didapatkan setelah pengukuran diubah menjadi kurva dispersi menggunakan metode transformasi gelombang (Park dkk., 1998; McMechan dkk., 1981). Transformasi ini mengumpulkan semua gelombang seismik yang berjalan secara horizontal dan kemudian membuang energi yang terkumpul pada titik yang sesuai dalam ruang kecepatan fase frekuensi dari mana kurva dispersi diekstraksi dan dibalik untuk menghasilkan profil Vs (Xia dkk., 1999). Metode MASW umumnya digunakan untuk mengkarakterisasi tanah dan kekakuan batuan dasar serta kedalaman dari batuan dasar tersebut (Miller dkk., 1999).

Penggabungan kedua metode ini akan memperoleh sifat gelombang dan kemudian dilakukan korelasi semi empiris dan teoritis digunakan untuk memperkirakan parameter dinamik yaitu *poisson ratio*, modulus geser dan modulus elastisitas untuk evaluasi parameter geoteknik pada lokasi penelitian. Lokasi penelitian dipilih karena wilayah Surabaya Barat memiliki kondisi geologi yang beragam sehingga dapat dibandingkan karakter lapisan tanah pada struktur yang berbeda. Surabaya juga dilalui oleh Sesar Waru dan Sesar Surabaya (Pusgen., 2017) sehingga memiliki potensi bahaya yang semakin besar jika terjadi gempa bumi. Oleh karena itu, penelitian mengenai karakterisasi tanah di wilayah Surabaya harus dilakukan untuk rekomendasi dalam pembangunan.

## **1.2 Perumusan Masalah**

Adapun rumusan masalah dilakukannya penelitian ini adalah:

1. Bagaimana cara menghitung parameter dinamik batuan berdasarkan pengukuran MASW dan seismik refraksi?
2. Bagaimana cara menentukan profil tanah menggunakan pengukuran parameter dinamik batuan?

## **1.3 Batasan Masalah**

Adapun batasan masalah dari penelitian ini antara lain:

1. Akuisisi metode MASW dan seismik refraksi dilakukan dalam satu kali pengukuran menggunakan 24 *channel*
2. Lokasi pengukuran berada di Surabaya Barat dengan jumlah enam titik yang mewakili setiap formasi
3. Parameter dinamis yang diukur adalah nilai *poisson ratio*, modulus geser dan modulus elastis dengan menggunakan perhitungan matematis

## **1.4 Tujuan**

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Untuk menghitung parameter dinamik batuan berdasarkan pengukuran MASW dan seismik refraksi
2. Untuk menentukan profil tanah menggunakan pengukuran parameter dinamik batuan



## **BAB II**

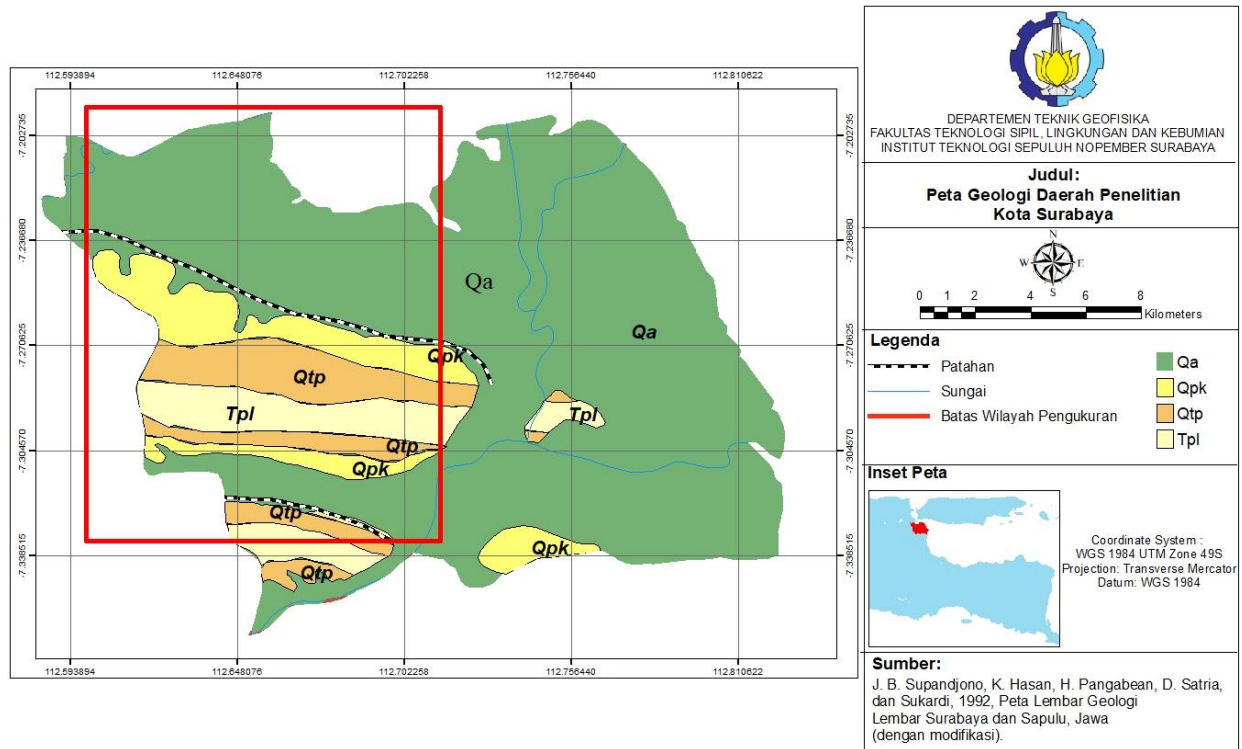
### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Geologi Regional Surabaya**

Surabaya adalah kota terbesar kedua di Indonesia setelah Jakarta. Surabaya terletak di tepi pantai utara Pulau Jawa dan berhadapan dengan Selat Madura serta Laut Jawa dengan koordinat  $7^{\circ}16'LU$   $112^{\circ}43'BT$ . Surabaya merupakan daerah dengan kondisi geologi berupa cekungan endapan aluvial dan batu pasir yang dalam, oleh karenanya daerah Surabaya sangat rawan terhadap guncangan akibat gempa (amplifikasi). Selain itu, Surabaya berada dekat dengan lajur Sesar Lasem, lajur Sesar Watukosek, lajur Sesar Grindulu dan lajur Sesar Pasuruan yang memungkinkan terjadinya gempa yang bersumber dari sesar-sesar tersebut. Pada tahun 2017 PUSGEN atau Pusat Studi Gempa Nasional menemukan fakta bahwa letak Surabaya secara geografis berada pada dua patahan bumi yang diperkirakan masih aktif dan diduga suatu saat besar kemungkinan bisa menimbulkan gempa bumi dengan kekuatan besar di wilayah Surabaya. Patahan tersebut adalah Sesar Kendeng dan Sesar Waru. Kondisi geologi kota Surabaya berupa cekungan endapan aluvium dan batu pasir dengan sedimen batu lempung dan gamping, serta dilewati oleh Sesar Kendeng yang bergerak 5 milimeter per tahun, Sesar Lasem berada di utara Kota Surabaya  $\pm 70$  km, Sesar Watukosek di selatan Surabaya membentang dari Mojokerto hingga Madura  $\pm 30$  km, sesar Grindulu berada di pantai selatan Pacitan sampai Mojokerto  $\pm 50$  km (Nakamura, 1989).

##### **2.1.1 Stratigrafi**

Secara geologi, kota Surabaya terbentuk oleh batuan sedimen yang berumur Miosen sampai Plistosen. Batuan sedimen ini merupakan bagian dari lajur Kendeng dengan formasi Sonde, Lidah, Pucangan, dan formasi Kabuh. Batuan dasar untuk kota Surabaya merupakan formasi Lidah yang berumur Pliosen (*pre-tertiary*). Formasi ini berada pada kedalaman 250 – 300 meter. Berdasarkan peta geologi Surabaya dan Sapulu, daerah Surabaya merupakan daerah dengan kondisi geologi berupa cekungan endapan aluvial dan batu pasir dengan sedimen berupa batu gamping dan lempung (Sukardi, 1992).



Gambar 2 1 Peta Geologi Surabaya (Sukardi, 1992)

Gambar 2.1 menunjukkan geologi Kota Surabaya yang tersusun dari:

- a. Aluvium (Qa)  
Kerakal, kerikil, pasir, lempung, dan setempat pecahan cangkang fosil
- b. Formasi Kabuh (Qpk)  
Batupasir, setempat kerikilan, kelabu muda, berbutir kasar, berstruktur perairan, dan silang-siur, konglomerat, terpilah buruk, kemas terbuka, berstruktur lapisan bersusun
- c. Formasi Pucangan (Qtp)  
Bagian bawah: batupasir tufan berlapis baik, bersisipan konglomerat dan batu lempung, kaya akan fosil moluska dan plankton. Bagian atas: batupasir tufan berlapis baik, umumnya berstruktur perairan dan silangsiur.
- d. Formasi Lidah (Tpl)  
Batulempung biru, setempat kehitaman, kenyal, pejal dan keras bila kering, miskin fosil; lensa tipis batulempung pasir.

## 2.2 Jenis-Jenis Gelombang Seismik

### 2.2.1 Gelombang Badan (*Body Waves*)

Gelombang badan (*body wave*) yang merupakan gelombang yang menjalar melalui bagian dalam bumi dan biasa disebut *free wave* karena dapat menjalar ke segala arah di dalam bumi. Gelombang badan terdiri atas gelombang primer atau longitudinal (*compressional wave*) dan gelombang transversal atau gelombang sekunder (*shear wave*).

#### A. Gelombang P

Jika pergerakan partikel tersebut sejajar dengan arah penjaran gelombang, maka disebut dengan gelombang kompresi (gelombang primer atau *primary wave* atau gelombang P) (Brown, 2005).

$$V_p = \sqrt{\frac{k + \frac{4}{3}\mu}{\rho}} \quad (2.1)$$

Dengan K adalah modulus Bulk (inkompresibilitas),  $\mu$  adalah modulus geser dan  $\rho$  adalah densitas.

#### B. Gelombang S

Gelombang yang memiliki pergerakan partikel tegak lurus dengan arah penjaran gelombang, maka disebut dengan gelombang geser (gelombang sekunder atau *secondary wave* atau gelombang S). Ada dua komponen gelombang S, yaitu gelombang Suntuk arah vertikal (*Shear Vertical*), dan

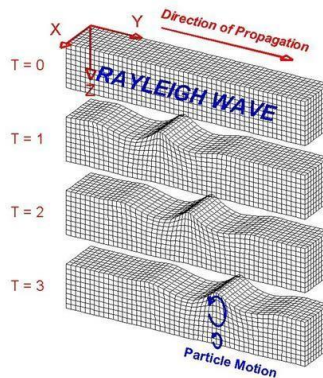
gelombang untuk arah horizontal (*Shear Horizontal*). Kedua arah gelombang *S* ini saling tegak lurus. Kecepatan rambat gelombang *S* ( $V_s$ ) adalah:

$$V_s = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}} \quad (2.2)$$

### 2.2.2 Gelombang Permukaan (Surface Wave)

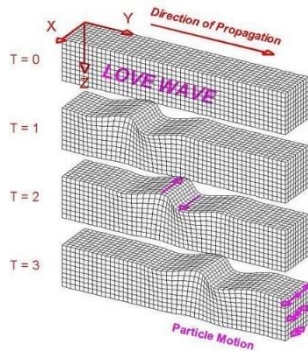
Gelombang permukaan merupakan gelombang yang memiliki amplitudo besar dan frekuensi rendah yang menjalar pada permukaan bebas (*free surface*). Berdasarkan sifat gerakan partikel mediumnya maka gelombang permukaan dibagi 2 yaitu gelombang Rayleigh dan gelombang *Love*. Kecepatan gelombang Rayleigh dapat dituliskan sebagai:

$$V_r = 0.09194 \sqrt{\frac{\mu}{\rho}} \quad (2.3)$$



Gambar 2. 1 Gelombang Rayleigh (sumber: <http://web.ics.purdue.edu/~braile/edumod/slinky/slinky.htm>)

Gambar 2.1 menunjukkan gelombang rayleigh yang merupakan gelombang permukaan yang gerakan partikelnya merupakan kombinasi gerakan partikel gelombang P dan S, yaitu berbentuk *ellips*. Sumbu mayor *ellips* (sumbu Y) tegak lurus dengan permukaan dan sumbu minor sejajar (sumbu X) dengan arah penjalaran gelombang.



Gambar 2. 2 Gelombang Love (sumber: <http://web.ics.purdue.edu/~braile/edumod/slinky/slinky.htm>)

Gambar 2.2 menunjukkan gelombang *Love* yang merupakan gelombang permukaan yang menjalar dalam bentuk gelombang transversal. Gerakan partikelnya mirip dengan gelombang S, kecepatan penjalarannya bergantung dengan panjang gelombangnya dan bervariasi sepanjang permukaan.

### 2.3 Metode MASW (Multichannel Analysis of Surface Wave)

Multichannel Analysis of Surface Waves (MASW) adalah metode dekat permukaan yang memberikan informasi kecepatan gelombang geser ( $V_s$ ) guna investigasi struktur dekat permukaan secara efektif, efisien dan mudah dalam pengolahannya. MASW memberikan informasi tentang kecepatan gelombang geser ( $V_s$ ) 1D. (Park, dkk., 2007).

Metode MASW sangat populer dalam identifikasi zona-zona rawan guncangan gempa bumi, dan diklasifikasi berdasarkan site class yang mengacu pada nilai kecepatan gelombang shear ( $V_{s30}$ ) oleh Eurocode 8.

Tabel 2 1 Klasifikasi Tanah sesuai Eurocode 8

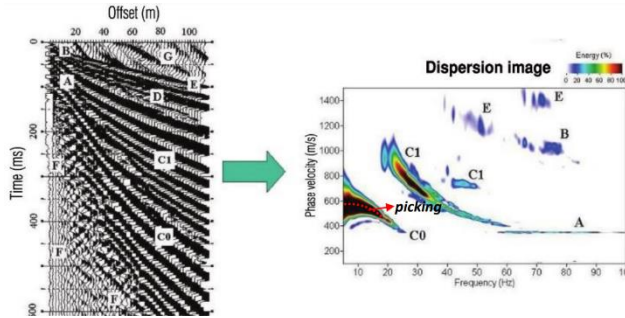
Tipe tanah	Uraian Gambaran Stratigrafi	$V_s$ (m/s)
A	Batuan atau formasi batuan lainnya	>800
B	Endapan <i>sand</i> atau <i>clay</i> yang sangat padat, <i>gravel</i> , pada ketebalan beberapa puluh meter,	360-800

	ditandai dengan peningkatan sifat fisik mekanik terhadap kedalaman.	
C	Endapan <i>sand</i> padat atau setengah padat yang tebal, <i>gravel</i> atau <i>clay</i> padat dengan ketebalan beberapa puluhan hingga ratusan meter	180-360
D	endapan tanah kohesi rendah sampai sedang (degan atau tanpa beberapa lapisan kohesi rendah), terutama pada tanah kohesi rendah	<180
E	lapisan tanah terdiri dari aluvium pada permukaan dengan nilai Vs tipe C atau D degan ketebalan bervariasi 5 m hingga 20 meter, dibawah tanah ini berupa material keras dengan Vs > 800	
S1	Endapan terdiri dari atau mengandung, ketebalan lapisan 10 m pada tanah lempung lunak atau lempung lanauan dengan indeks plastisitan dan kadar air yang tinggi	<100 (indikasi)
S2	endapan tanah likuifiable, dari clay sensitif, atau tanah lain yang tidak termasuk dalam tipe A-E atau S1	

### 2.3.1 Pengolahan Data

Data yang didapat saat akuisisi data dengan metode MASW berupa *shoot gather* dalam domain waktu dan jarak. Data pengukuran dari domain waktu ditransformasikan ke domain *Phase velocity-frequency* dengan menggunakan *software* inversi MASW, sehingga data berubah menjadi gambar kurva dispersi yang menunjukkan hubungan frekuensi dengan kecepatan fasa gelombang berdasarkan energinya. Energi yang paling besar biasanya ditunjukkan oleh warna ungu. Pada gambar 2.3 dispersi akan terlihat berbagai mode gelombang yang terekam. Mode yang akan di *picking* adalah mode dasar dari gelombang permukaan “Co” (Gambar 2.3), mode dasar atau *fundamental mode* memiliki sensitivitas yang tinggi terhadap perubahan Vs dan ketebalan dekat permukaan, sedangkan perubahan densitas dan kecepatan gelombang primer Vp sensitivitasnya kecil untuk mode dasar dan frekuensi yang sempit. Kurva dispersi mode tinggi (*higher mode*) sensitivitas tinggi pada kedalaman yang lebih dalam dan telah dipengaruhi oleh kecepatan gelombang (Vp, Vs, densitas dan ketebalan). Kemampuan membedakan satu jenis gelombang dari gelombang lainnya sangat berpengaruh pada proses *picking* yang akan dilakukan. Proses

pengolahan data tersebut menjadi panduan dalam proses pengolahan data MASW untuk mendapatkan nilai Vs.



Gambar 2. 3 Tahap pengolahan data MASW (Xia dkk., 2003)

### 2.3.2 Inversi

Profil Vs dihitung dengan menggunakan menggunakan inversi berbasis iterasi yang memerlukan data inversi dan estimasi *poission ratio* dan densitas. Pendekatan *least square* memungkinkan untuk melakukan proses secara otomatis. Untuk metode ini hanya Vs yang berubah setiap melakukan iterasi, sisanya Poission ratio, densitas dan ketebalan tidak mengalami perubahan selama proses inversi. Inisial model bumi dibutuhkan sebagai langkah awal proses inversi berbasis iterasi. Model bumi terdiri dari parameter gelombang P dan gelombang S, densitas dan ketebalan. Diantara 4 parameter tersebut, Vs adalah yang paling signifikan (Choon B, dkk, 1999).

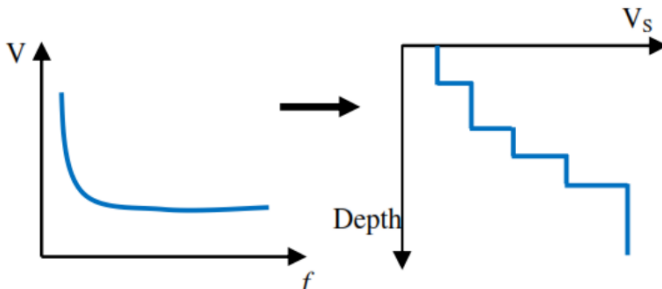
$$Vs(z) = 1.1c(\lambda = r.z) \quad (2.4)$$

$Vs(z)$  = kecepatan gelombang geser pada kedalaman  $z$ ,  $c(\lambda)$  Kecepatan Fasa yang berkaitan dengan panjang gelombang ( $\lambda$ ), sama dengan perkalian kedalaman ( $z$ ) dengan faktor konversi kedalaman ( $r$ ) (antara 2 dan 4) (Ismed Kanli, dkk, 2004). Selain itu, menurut (M. Asrurifak, dkk, 2013) profil kecepatan gelombang geser 1-D diperoleh dari hasil inversi kurva dispersi menggunakan metode algoritma genetik. Dimana dasarnya dilakukan untuk mendapatkan model yang paling baik (mendekati sebenarnya) dengan missfit minimum. Missfit dirumuskan sebagai berikut :

$$Missfit = \sum_{i=0}^{n_f} \frac{(x_{di} - x_{ci})^2}{\sigma_i^2 n_f} \quad (2.5)$$

Dimana Missfit adalah ketidakcocokan,  $x_{di}$  adalah kecepatan kurva teoritis,  $x_{ci}$  kecepatan kurva hasil perhitungan pada frekuensi,  $\sigma_i$  ketidakpastian sampel

frekuensi,  $nf$  adalah jumlah dari sample frekuensi, jika tidak ada ketidakpastian  $\sigma_i$  diganti oleh  $x_{di}$  (Wathlet, dkk, 2004).



Gambar 2. 4 Profil Vs 1-D hasil inversi dari kurva dispersi (Sholihan, 2009)

Output yang dihasilkan dari proses inversi yaitu profil 1D Vs yang menunjukkan perlapisan tanah sesuai kedalamannya (Gambar 2.4). Perhitungan matematis pada rumus 2.4 dan 2.5 adalah perhitungan dasar yang digunakan pada *software* inversi.

## 2.4 Seismik Refraksi

Dalam metode seismik refraksi, yang diukur adalah waktu tempuh dari gelombang dari sumber menuju *geophone*. Pada metode ini, gelombang yang terjadi setelah sinyal pertama (*firstbreak*) diabaikan, karena gelombang seismik refraksi merambat paling cepat dibandingkan dengan gelombang lainnya kecuali pada jarak *offset* yang relatif dekat sehingga yang dibutuhkan adalah waktu pertama kali gelombang diterima oleh setiap *geophone*.

Parameter jarak dan waktu penjalaran gelombang dihubungkan dengan cepat rambat gelombang dalam medium. Besarnya kecepatan rambat gelombang tersebut dikontrol oleh sekelompok konstanta fisis yang ada dalam material yang dikenal sebagai parameter elastisitas (Nurdiyanto, 2011). Elastisitas batuan yang berbeda-beda menyebabkan gelombang merambat melalui lapisan batuan dengan kecepatan yang berbeda-beda.

Dari bentuk kurva waktu tempuh terhadap jarak, dapat ditafsirkan kondisi batuan di daerah penelitian. Menurut Sismanto (1999), asumsi dasar yang harus dipenuhi untuk penelitian perlapisan dangkal adalah:

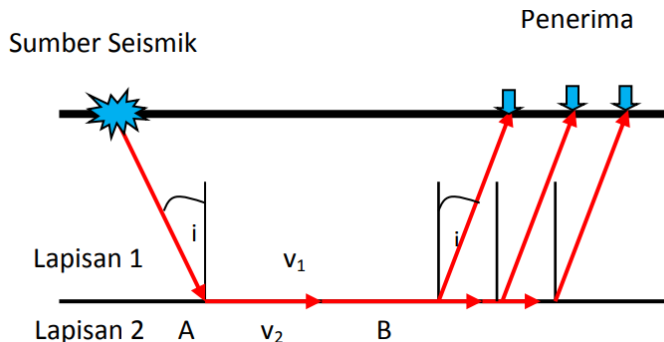
1. Medium bumi dianggap berlapis-lapis dan setiap lapisan menjalarkan gelombang seismik dengan kecepatan yang berbeda beda.
2. Semakin bertambah kedalamannya, batuan lapisan akan semakin kompak.



3. Panjang gelombang seismik lebih kecil daripada ketebalan lapisan bumi.
4. Perambatan gelombang seismik dapat dipandang sebagai sinar, sehingga mematuhi hukum – hukum dasar lintasan sinar.
5. Pada bidang batas antar lapisan, gelombang seismik merambat dengan kecepatan pada lapisan dibawahnya.
6. Kecepatan gelombang bertambah dengan bertambahnya kedalaman.

Metode seismik refraksi menerapkan waktu tiba pertama gelombang dalam perhitungannya. Gelombang P memiliki kecepatan lebih besar dibandingkan dengan kecepatan gelombang S sehingga waktu datang gelombang P yang digunakan dalam perhitungan. Gelombang seismik refraksi yang dapat terekam oleh receiver pada permukaan bumi hanyalah gelombang seismik refraksi yang merambat pada batas antar lapisan batuan. Hal ini hanya dapat terjadi jika sudut datang merupakan sudut kritis atau ketika sudut bias tegak lurus dengan garis normal ( $r = 90^\circ$  sehingga  $\sin r = 1$ ). Hal ini sesuai dengan asumsi awal bahwa kecepatan lapisan dibawah interface lebih besar dibandingkan dengan kecepatan diatas *interface* (Nurdiyanto, 2011).

Gelombang seismik berasal dari sumber seismik merambat dengan kecepatan  $V_1$  menuju bidang batas (A), kemudian gelombang dibiaskan dengan sudut datang kritis sepanjang interface dengan kecepatan  $V_2$  (Gambar 2.5). Dengan menggunakan prinsip Huygens pada interface, gelombang ini kembali ke permukaan sehingga dapat diterima oleh penerima yang ada di permukaan.



Gambar 2. 5 Pembiasan dengan sudut kritis (Telford dkk, 1976)

Gelombang yang dapat ditangkap oleh receiver dapat berupa gelombang langsung (*direct wave*), gelombang refleksi (*reflection wave*), ataupun gelombang refraksi (*refraction wave*). Untuk jarak *offset* (jarak *geophone* dengan sumber seismik) yang relatif dekat, gelombang yang paling cepat diterima oleh receiver adalah gelombang langsung dan gelombang yang paling lama diterima adalah gelombang refleksi (Setiawan, 2008).

Tahapan akhir dalam metode seismik refraksi adalah membuat atau melakukan interpretasi hasil dari survei menjadi data bawah permukaan yang akurat. Data-data waktu dan jarak dari kurva travel time diterjemahkan menjadi suatu penampang seismik, dan akhirnya dijadikan menjadi penampang geologi (Nurdiyanto, 2011).

## 2.5 Parameter Dinamis

Karakteristik zat padat seperti batuan dapat dipelajari melalui sifat elastisitasnya. Parameter dinamik merupakan konsep dasar yang banyak digunakan dalam permasalahan mekanika batuan yang merupakan suatu kajian yang membahas tentang masalah *strain* (regangan) yang terjadi pada suatu bahan benda bila bahan benda tersebut dikenai *stress*, sehingga mengakibatkan bahan tersebut mengalami deformasi. Dalam kasus ini, bahan dikatakan mempunyai sifat elastis jika bahan tersebut merenggang bila dikenai *stress* dan kembali keadaan semula bila *stress* dihilangkan (Turcote, 1982 dan Telford, 1975). *Stress* merupakan gaya persatuan luas yang ditransmisikan melalui materi suatu benda oleh medan gaya antar atom. Bila suatu benda elastik dikenakan *stress*, maka benda akan mengalami perubahan dalam bentuk dimensi.

Batuan sebagai bahan utama pembentuk kerak bumi berperan penting pada tata ruang pada kerak bumi mempunyai parameter elastik seperti *Poisson ratio*, modulus kekakuan (*modulus of rigidity*), modulus Young, modulus Bulk dan tetapan Lamé, serta porositas. Semua parameter elastik ini disebut dengan parameter dinamik.

Pengetahuan tentang parameter dinamik suatu batuan sangat penting karena harga ini mencerminkan sifat batuan tersebut. Berdasarkan harga konstanta ini dapat diketahui kekuatan dan daya dukung (*bearing capacity*) bantuan terhadap beban yang dikenakan padanya. Harga porositas suatu batuan sangat membantu dalam menentukan kandungan fluida seperti gas alam, minyak bumi, atau air tanah dalam suatu *reservoir*. Informasi tentang kekuatan batuan sangat diperlukan dalam pembangunan bendungan, jembatan, reaktor nuklir dan sebagainya.

### 2.5.1 Poisson ratio

*Poisson ratio* merupakan ukuran besarnya regangan pada suatu benda berupa kontraksi dalam arah transversal dan peregangan dalam arah longitudinal akibat terkena tekanan. Persamaan *poisson ratio* dapat dilihat pada persamaan di bawah ini:

$$\sigma = -\frac{E_{xx}}{E_{zz}} \quad (2.4)$$

Selain itu *poisson ratio* juga bisa diungkapkan dalam besaran kecepatan gelombang seismik, yaitu:

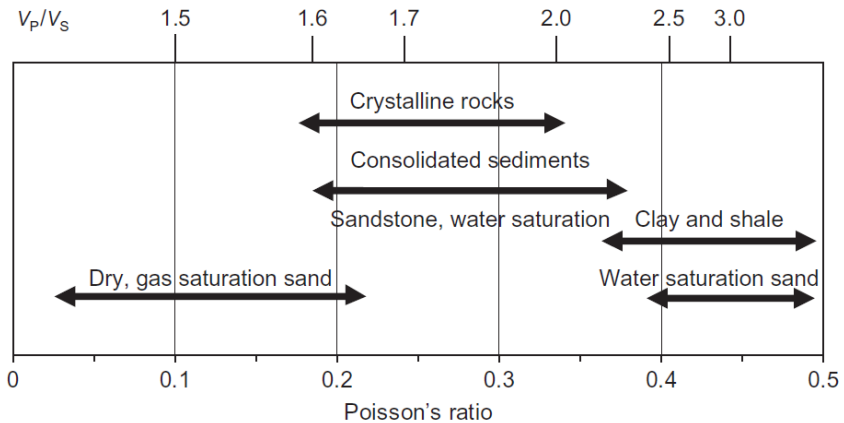
$$\sigma = \frac{\left(\frac{V_p}{V_s}\right)^2 - 2}{2\left[\left(\frac{V_p}{V_s}\right)^2 - 1\right]} \quad (2.5)$$

Dimana  $\sigma$  merupakan poisson ratio,  $V_p$  merupakan kecepatan gelombang P dan  $V_s$  adalah kecepatan gelombang S (Schön, 2015).

Dari persamaan diatas, *poisson ratio* mengukur besarnya  $V_p/V_s$ . Besarnya nilai *poisson ratio* adalah kisaran 0,1 sampai 0,5. Namun untuk batuan secara umum, nilai dari *Poisson ratio* diasumsikan rata-rata 0,25 (Sudarmoyo, 2001). *Poisson ratio* akan bernilai 0 jika nilai  $(V_p/V_s)=\sqrt{2}$ , dan *poisson ratio* akan bernilai 0,5 jika  $V_s = 0$  (Suprajitno, 1993).

Tabel 2 2 Tipe material berdasarkan nilai poisson ratio ((Davidovici, 1985)

<b>Tipe Material</b>	<b>Poisson Ratio</b>
Lempung tersaturasi	0.5
Lempung medium	0.4-0.45
Lempung berpasir	0.35-0.4
Pasir, gravel	0.25-0.30
Pasir berlanau, Pasir berlempung	0.30-0.35



Gambar 2. 6 Rata-Rata *Poisson Ratio* pada Beberapa Jenis Litologi (Schön, 2015)

Tabel 2.2 dan Gambar 2.6 menunjukkan nilai *poisson ratio* yang dikorelasikan dengan litologi. *Poisson Ratio* akan bernilai tinggi apabila pori-pori terisi air, sebaliknya *poisson ratio* akan bernilai rendah apabila terisi gas.

### 2.5.2 Modulus Geser

Modulus geser merupakan faktor proporsional antara tegangan (*stress*) geser dengan regangan (*strain*) geser

$$G = \rho V_s^2 \quad (2.6)$$

Dimana  $\rho$  merupakan densitas dan  $V_s$  adalah nilai kecepatan gelombang S (Schön, 2015).

Modulus geser digunakan untuk deformasi yang terjadi ketika gaya diterapkan parallel terhadap satu bidang objek, ketika bidang yang lainnya ditahan oleh gaya yang sama. Modulus geser sangat bermanfaat untuk membedakan kualitas batupasir karena modulus geser tidak dipengaruhi oleh fluida.

### 2.5.3 Modulus Elastisitas

Modulus Young ( $E$ ) dikenal juga dengan modulus elastisitas yaitu faktor proporsional antara tegangan (*stress*) normal dengan regangan normal.

$$E = \rho \frac{3V_p^2 - 4V_s^2}{(V_p/V_s)^2 - 1} \quad (2.7)$$

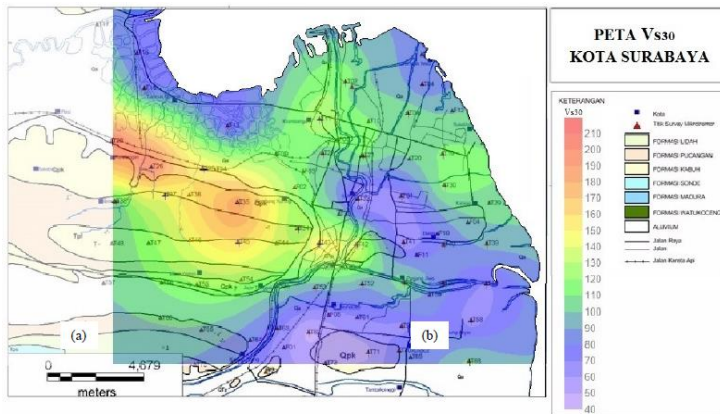
Dapat dilihat pada persamaan (2.7) dengan  $E$  menyatakan modulus elastisitas,  $\rho$  merupakan densitas,  $V_p$  merupakan kecepatan gelombang P dan  $V_s$  merupakan kecepatan gelombang S (Schön, 2015).

Ukuran dan bentuk dari benda yang padat dapat berubah apabila dikenai gaya padat luar permukaan benda tersebut. Gaya eksternal ini ditahan oleh gaya internal yang menolak perubahan ukuran dan bentuk. Hasilnya, benda akan cenderung kembali ke keadaan semula ketika gaya eksternal dihilangkan. Sesuatu yang menolak perubahan ukuran dan bentuk dan kembali ke keadaan semula ketika gaya luar dihilangkan disebut elastisitas. Elastisitas merupakan ukuran kekakuan suatu material, sehingga semakin tinggi nilai modulus elastisitas bahan, maka semakin sedikit perubahan bentuk yang terjadi apabila diberi gaya. Jadi, semakin besar nilai modulus ini maka semakin kecil regangan yang terjadi atau semakin kaku (Soebowo E, dkk. 2009).

## **2.6 Penelitian Sebelumnya Mengenai Pemetaan Surabaya**

Mufida dkk (2013), melakukan penelitian tentang “*Profiling Kecepatan Gelombang Geser ( $V_s$ ) Surabaya Berdasarkan Pengolahan Data Mikrotremor*”. Dalam penelitian ini dilakukan pengukuran mikrotremor pada 39 titik akusisi yang tersebar di wilayah Surabaya. Dari penelitian yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa dari peta frekuensi natural, peta amplifikasi, dan peta  $V_{s30}$  yang diperoleh menunjukkan bahwa daerah sepanjang Surabaya bagian timur sampai Surabaya bagian utara memiliki nilai frekuensi natural yang rendah, amplifikasi tinggi dan nilai  $V_{s30}$  yang rendah, sehingga bisa dikatakan bahwa daerah tersebut merupakan daerah yang rentan terhadap kerusakan akibat gempa (Gambar 2.7). Kemudian dari estimasi  $V_{s30}$  yang diperoleh wilayah Surabaya diklasifikasi sebagai tipe tanah E yaitu lapisan tanah yang terdiri aluvium pada permukaan dengan nilai  $V_s$  tipe C. Hasil analisa nilai frekuensi dan amplifikasi natural menunjukkan ketebalan bervariasi antara 5 m dan 20 meter, dengan  $V_s$

tipe tanah D menyebar pada hampir seluruh wilayah Surabaya terkecuali bagian tengah ke arah barat yang memiliki VS tipe tanah C.



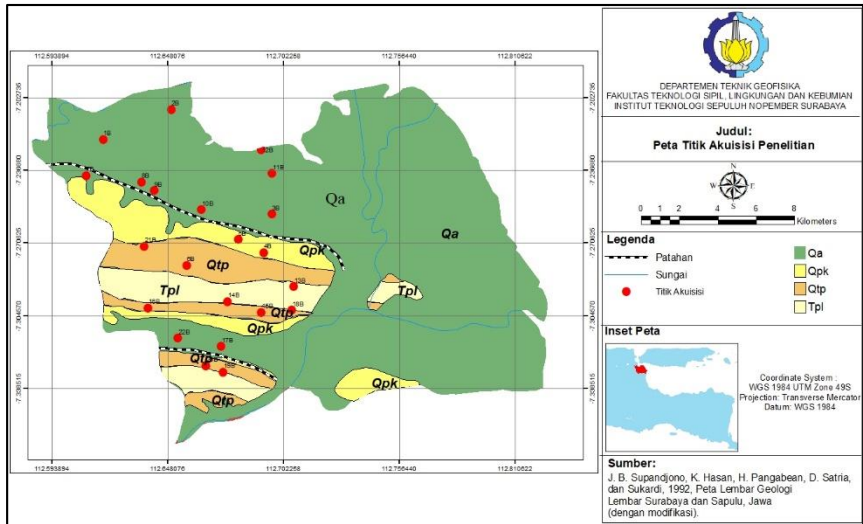
Gambar 2. 7 Peta sebaran nilai Vs<sub>30</sub> wilayah Surabaya (Mufida dkk, 2013)

## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Data dan Perangkat Lunak

#### 3.1.1 Data

Dalam penelitian ini menggunakan data primer hasil akuisisi MASW dan seismik refraksi di wilayah Surabaya Barat. Penelitian ini diukur dengan menggunakan 23 titik pengukuran yang berbeda yang menyebar di wilayah Surabaya Barat yang mewakili seluruh formasi (Gambar 3.1).



Gambar 3. 1 Peta lokasi titik pengukuran

Detil lokasi dapat dilihat pada tabel 3.1, yang menunjukkan koordinat titik pengukuran.

Tabel 3. 1 Koordinat titik pengukuran

Titik	X	Y
1B	678656.71	9201357.46
2B	682238.34	9202930.93
3B	687379.85	9197515.68
4B	686889.04	9195468.90
5B	685569.06	9196130.76

6B	682912.07	9194835.54
7B	677714.44	9199467.84
8B	680608.02	9199147.89
9B	681343.20	9198686.23
10B	683761.96	9197724.47
11B	687360.01	9199593.12
12B	686850.00	9200859.00
13B	688458.95	9193740.26
14B	685069.68	9192997.23
15B	686808.55	9192410.10
16B	680923.00	9192683.00
17B	684734.96	9190587.49
18B	688312.39	9192459.73
19B	684820.23	9189271.08
20B	683910.56	9189615.47
21B	680677.68	9195844.55
22B	682419.73	9191067.92
23B	680262.03	9190338.51

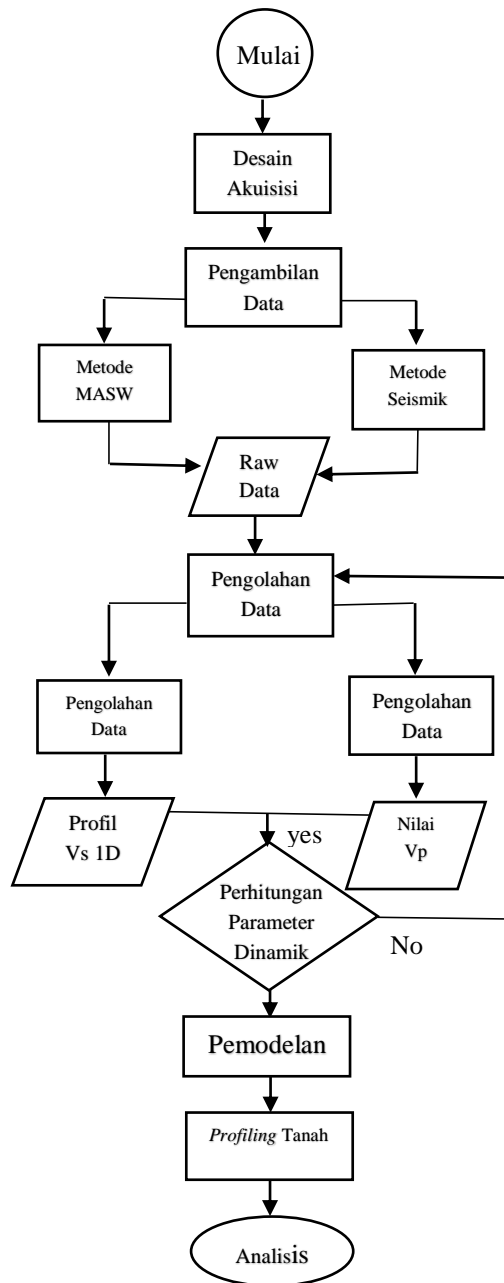
### 3.1.2 Perangkat Lunak

Perangkat lunak yang digunakan adalah Seissee, *software* inversi MASW, *software* inversi seismik refraksi dan *software* pemodelan 3D.

### 3.2 Alur Penelitian

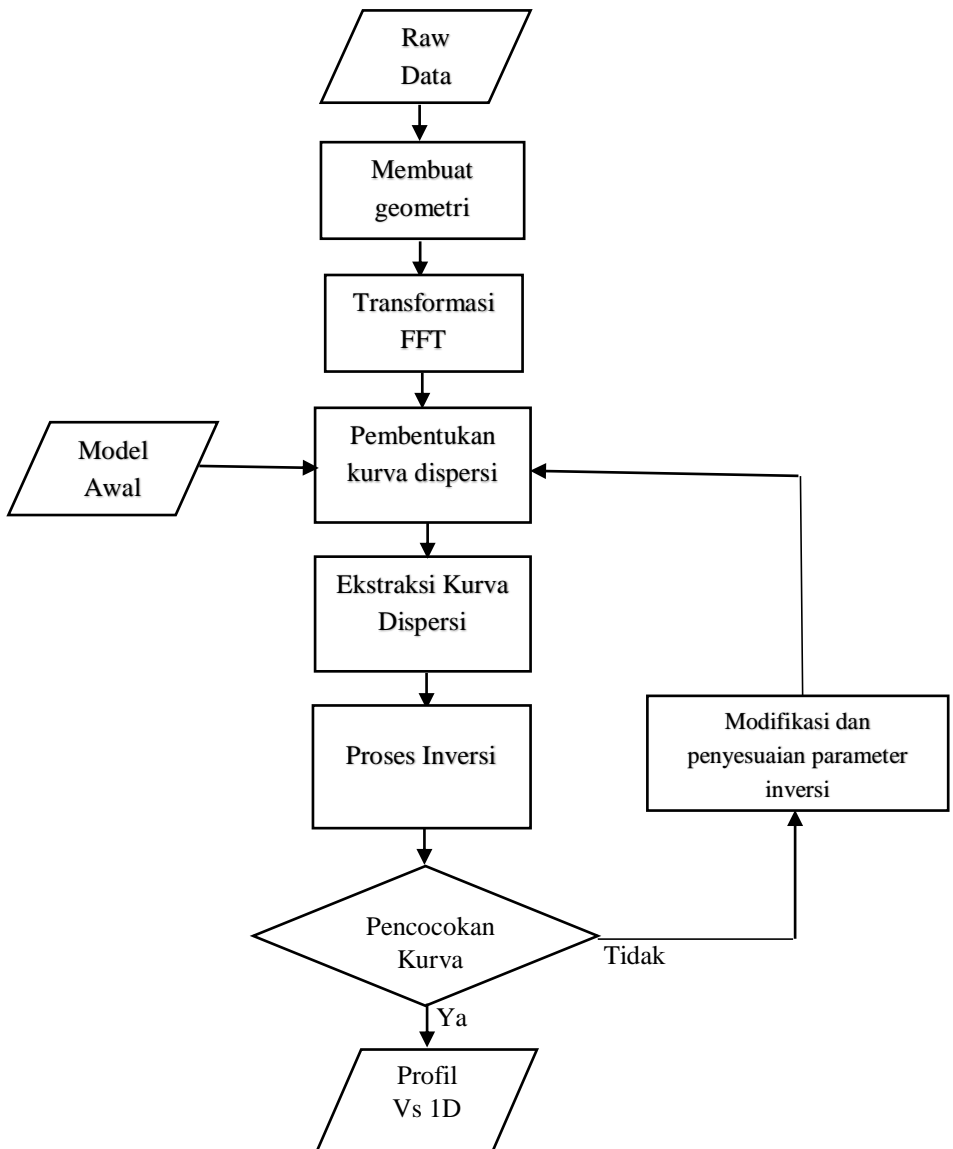
Diagram alir tugas akhir dibagi menjadi 3 diagram, yaitu diagram alir secara umum (gambar 3.2), diagram alir pengolahan data MASW (gambar 3.3), dan diagram alir pengolahan data seismik refraksi (gambar 3.4).





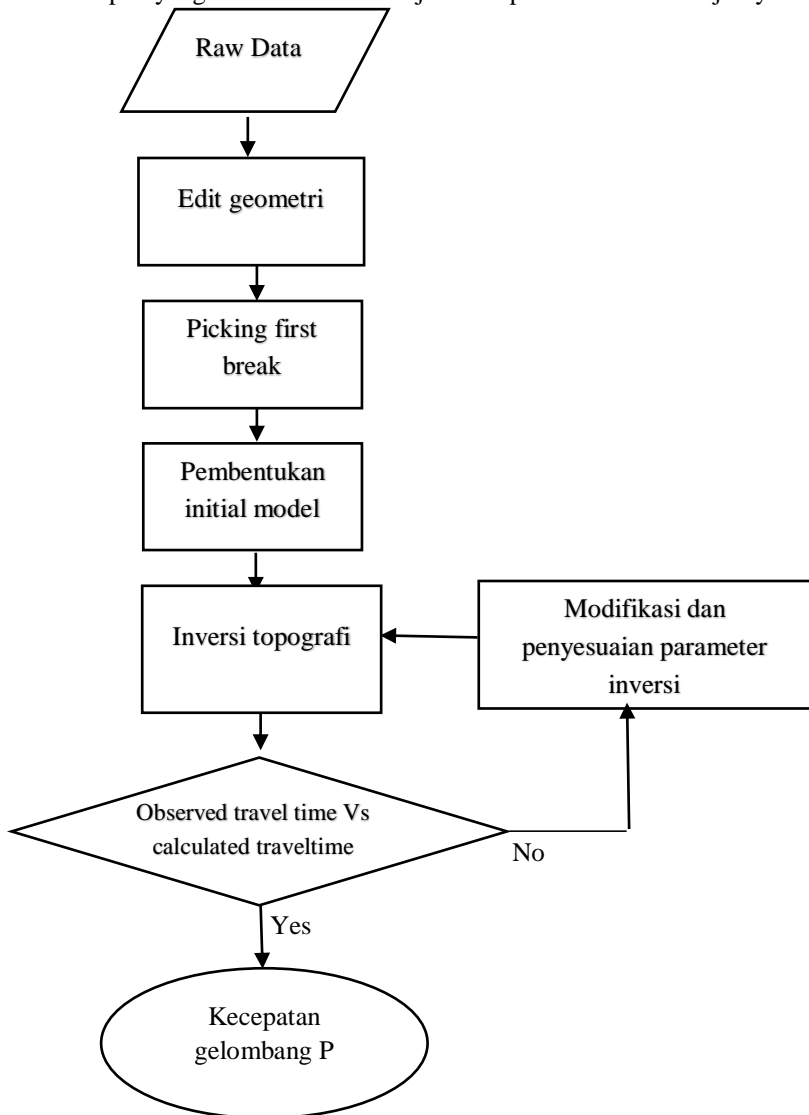
Gambar 3. 2 Alur Penelitian Secara Umum

Gambar 3.2 menunjukkan alur penelitian secara umum mulai dari tahap pembuatan desain akuisisi hingga analisis terhadap hasil yang didapatkan. Desain akuisisi data dibuat dengan cara membuat *grid* di seluruh wilayah Surabaya Barat dengan ukuran 2 x 2 km. Masing-masing *grid* diwakilkan dengan satu titik akuisisi sehingga total titik akuisisi berjumlah 23 titik. Kemudian dilanjutkan dengan pengambilan data seismik refraksi dan MASW yang dilakukan dalam satu kali pengukuran. Selanjutnya dilakukan pengolahan data pada dua metode yang berbeda. Pengolahan data seismik refraksi menggunakan *software* inversi seismik refraksi untuk mendapatkan nilai  $V_p$ , sedangkan pengolahan data MASW menggunakan *software* inversi MASW untuk mendapatkan nilai  $V_s$ . Masing-masing titik akuisisi akan memiliki nilai  $V_p$  dan  $V_s$  pada tiap kedalaman tertentu sehingga dapat dilakukan perhitungan parameter dinamis secara teoritis yaitu *poisson ratio*, modulus geser dan modulus elastisitas. Jika nilai-nilai yang didapatkan sudah sesuai dengan kondisi geologi maka dapat dilanjutkan pada pengolahan selanjutnya. Namun jika nilai yang didapatkan melenceng jauh, maka harus dilakukan pengolahan ulang karena pengolahan yang dilakukan sebelumnya belum benar. Jika parameter yang didapatkan sudah sesuai, kemudian masing-masing parameter diinputkan pada *software* pemodelan 3D untuk mendapatkan model 3D. Selanjutnya dilakukan *slicing* untuk mendapatkan penampang 2D sehingga didapatkan *profiling* tanah. Litologi dapat diketahui dengan menginterpretasikan nilai parameter dinamis pada pemodelan.



Gambar 3. 3 Alur pengolahan data MASW

Gambar 3.3 menunjukkan tahapan pengolahan data MASW menggunakan *software* inversi MASW mulai dari *raw* data hingga didapatkan nilai Vs dari profil 1D. Tahapan yang lebih detail akan dijelaskan pada sub-bab selanjutnya.



Gambar 3. 4 Alur pengolahan data seismik refraksi

Gambar 3.4 menunjukkan tahapan pengolahan data seismik refraksi menggunakan *software* inversi seismik refraksi mulai dari *raw* data hingga didapatkan nilai  $V_p$ . Tahapan lebih detail akan dijelaskan pada sub-bab selanjutnya.

### 3.3 Alur Akuisisi Data

Pengambilan data disesuaikan dengan keadaan lokasi penelitian. Beberapa hal tahapan akuisisi yang dilakukan adalah :

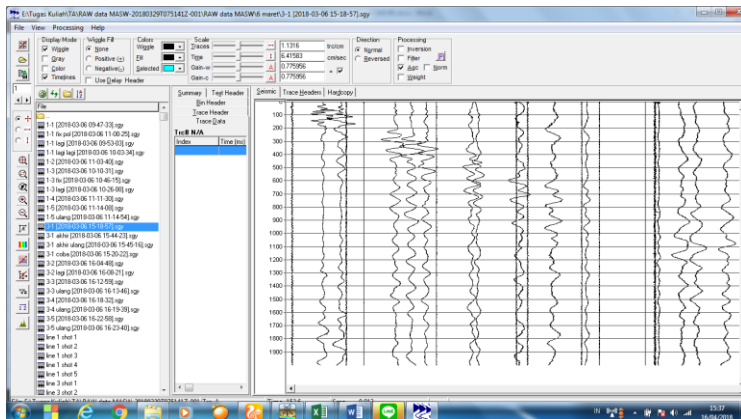
- a. Penentuan lokasi penelitian yang di sesuaikan dengan peta geologi.
- b. Pembuatan desain survey untuk pengambilan data MASW dan seismik refraksi di lapangan.
- c. Pengukuran titik dengan panjang lintasan 100 meter dengan alat dan bahan sebagai berikut:
  - *Geophone* 24 channel
  - *Hammer*
  - *Trigger*
  - Plat besi
  - Laptop
  - Satu set kabel seismic
  - Meteran
- d. Pengukuran dilakukan dengan jarak *offset* 5 m, spasi antar *geophone* 4 m.
- e. Pengukuran dilakukan dengan jumlah 5 shot yang berada di *offset*, 24 meter, 48 meter dan 72 meter

### 3.4 Alur Pengolahan Data

#### 3.4.1 Pengolahan Data MASW

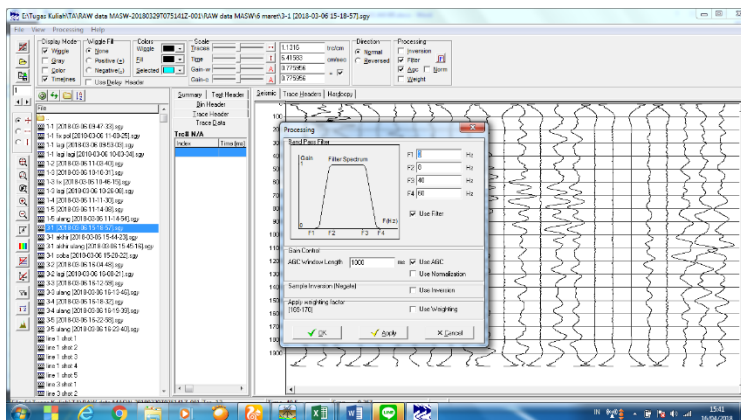
##### A. *Filtering data MASW*

Dari pengukuran data lapangan yang telah dilakukan pada tanggal 21 Februari 2018-23 Maret 2018 mendapatkan hasil seperti pada gambar 3.5 berikut.



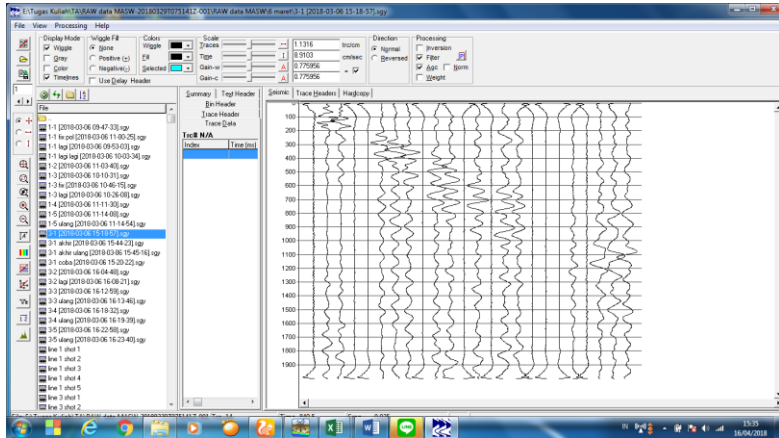
Gambar 3. 5 Data Line 2B Shot 1

Gamabr 3.5 menunjukkan *trace* gelombang yang memiliki *noise* dan beberapa *geophone* yang mati. Dari data tersebut kemudian dilakukan *filtering* menggunakan *filter bandpass* pada *software seisee*.



Gambar 3. 6 Filtering bandpass dengan seisee

Gambar 3.6 merupakan gambar pemfilteran gelombang menggunakan *bandpass* pada *seisee* dengan dengan frekuensi  $F_1=4$  Hz,  $F_2=8$  Hz,  $F_3=40$  Hz dan  $F_4=60$  hz dan hasilnya bisa dilihat pada gambar 3.7.

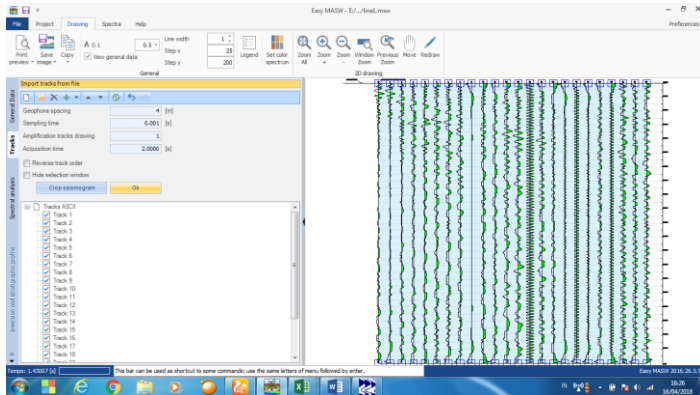


Gambar 3. 7 Contoh data line 2B shot 1 setelah dilakukan *filtering* pada seisee

Gambar 3.7 merupakan hasil *trace* gelombang pada titik 1 *shot* pertama setelah melalui proses *filtering bandpass* dan siap dimasukkan ke *software* pengolahan MASW. Terlihat bahwa *trace* gelombang lebih jelas daripada sebelum dilakukan *filtering*.

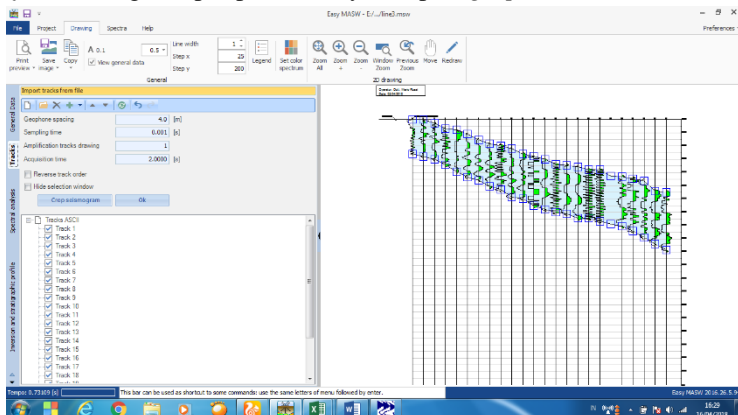
## B. Pengolahan Data MASW Menggunakan Software Inversi MASW

Setelah dilakukan *filtering* pada semua data, kemudian data dimasukkan ke *software* inversi dan dilakukan pengolahan untuk melihat profil Vs di Surabaya Bagian Barat.



Gambar 3. 8 Gambar data pada Software Inversi MASW

Gambar 3.8 merupakan data yang pertama kali muncul setelah memasukkan data pada *software* dengan input parameter yaitu spasi *geophone* dan lama akuisisi.



Gambar 3. 9 Gambar *trace* setelah dilakukan *picking surface wave*

Gambar 3.9 merupakan hasil *picking surface wave*. *Picking* dilakukan mulai *first break* hingga akhir data *surface wave*.



Wave number-frequency and velocity-frequency spectra analysis

☐ Analysis settings

☐ Synthetic model

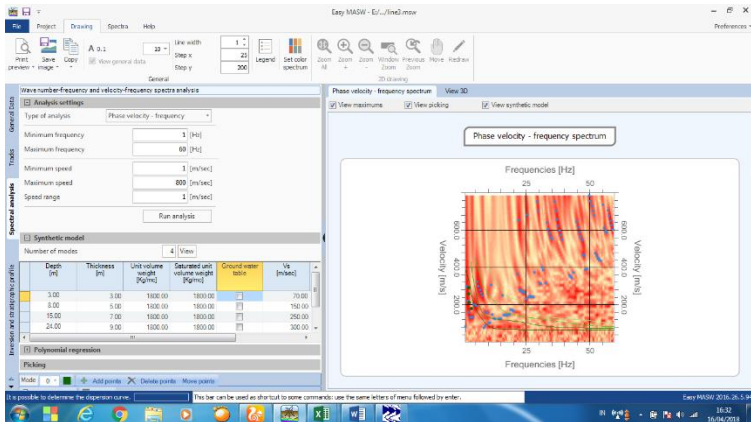
Number of modes

	Depth [m]	Thickness [m]	Unit volume weight [Kg/mc]	Saturated unit volume weight [Kg/mc]	Ground water table	Vs [m/sec]
	3.00	3.00	1800.00	1800.00	<input type="checkbox"/>	70.00
	8.00	5.00	1800.00	1800.00	<input type="checkbox"/>	150.00
	15.00	7.00	1800.00	1800.00	<input type="checkbox"/>	250.00
	24.00	9.00	1800.00	1800.00	<input type="checkbox"/>	300.00

☐ Polynomial regression

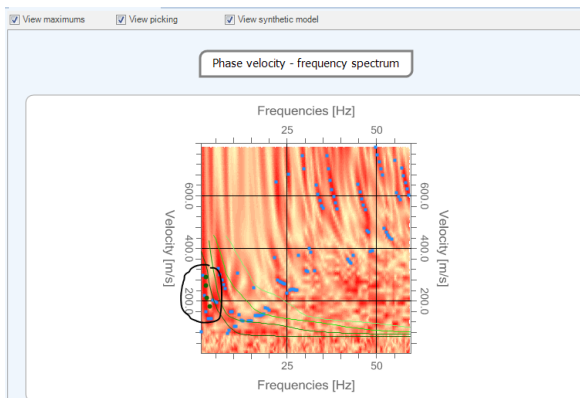
Gambar 3. 10 Input parameter model formasi alluvium

Setelah dilakukan *picking surface wave* kemudian masuk ke menu *spectral analysis* dengan memasukkan parameter berupa ketebalan lapisan dengan model 6 lapisan pada lapisan pertama ketebalannya 3 meter, lapisan kedua 5 meter, lapisan ketiga 7 meter, lapisan keempat 9 meter lapisan kelima dan keenam 11 meter (Gambar 3.10). Kemudian memasukkan Vs model awal berdasarkan nilai  $V_{s30}$  USGS dengan formasi alluvium lapisan pertama 70 m/s, lapisan kedua 150 m/s, lapisan ketiga 250 m/s, lapisan keempat 300 m/s, lapisan kelima 350m/s dan lapisan keenam 400m/s. Sementara untuk titik pengukuran pada formasi Qpk, Tpl dan Qtp Vs model awal yang digunakan yaitu lapisan pertama 100 m/s, lapisan kedua 200 m/s, lapisan ketiga 300 m/s, lapisan keempat 350 m/s, lapisan kelima 400 m/s dan lapisan keenam 450 m/s.



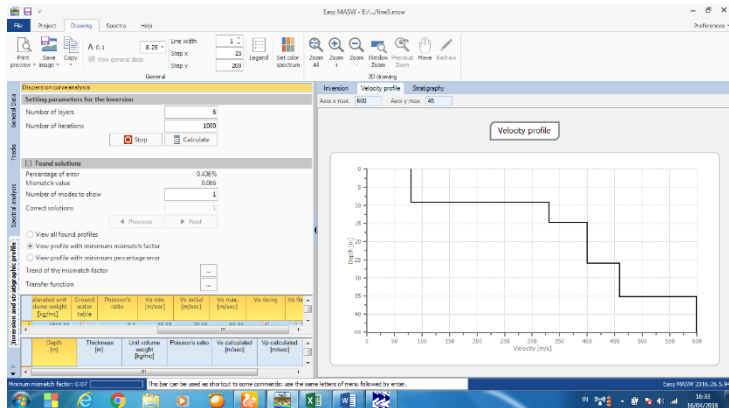
Gambar 3. 11 Picking fundamental mode

Gambar 3.11 merupakan contoh *input* parameter model line 2 yang merupakan daerah aluvium pada sisi kiri yang dilanjutkan dengan *picking fundamental mode* pada sisi kanan.



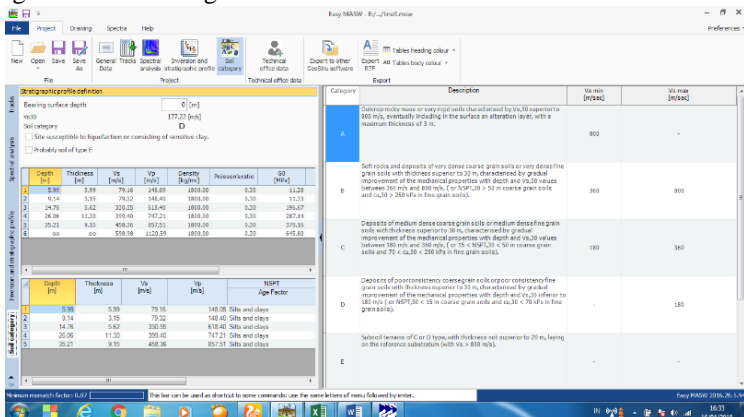
Gambar 3. 12 *Picking fundamental mode* frekuensi 1-5 Hz

Gambar 3.11 diatas adalah hasil *picking fundamental mode* kurva dispersi. Bagian yang dipicking adalah kurva yang menunjukkan garis yang jelas dan menerus dan karakteristik *surface wave* berada pada frekuensi 1-25 Hz. Gambar 3.12 lebih jelas menunjukkan *picking fundamental mode* di kisaran frekuensi 1-5 hz.



Gambar 3. 13 Hasil inversi

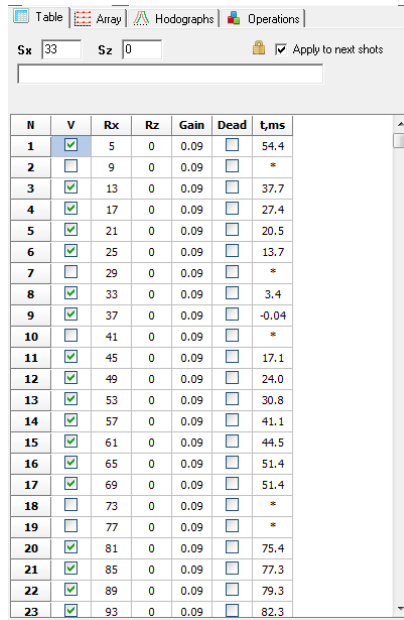
Gambar 3.13 adalah gambar hasil inversi dengan lapisan yang ditentukan berjumlah 6 lapisan dengan iterasi sebesar 1000 menghasilkan data seperti pada gambar 3.14 dibawah dengan rincian ketebalan dan vs yang menunjukkan bahwa di titik 3 merupakan zona Vs 30 rendah dengan besar 177 m/s dan termasuk kategori D dalam kategori Vs 30.



Gambar 3. 14 Hasil nilai Vs dan ketebalan masing-masing lapisan

### 3.4.2 Pengolahan Refraksi

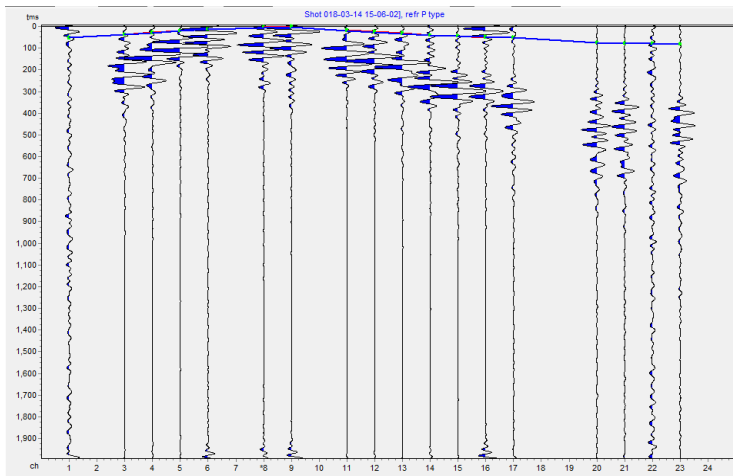
Dari data akuisisi juga dapat diolah refraksi menggunakan software inversi refraksi. Dengan pengolahan refraksi didapatkan nilai  $V_p$  yang kemudian akan digunakan untuk menghitung nilai densitas batuan.



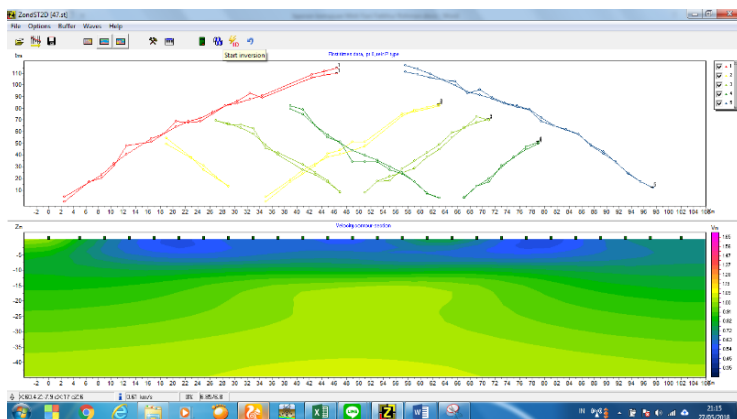
N	V	Rx	Rz	Gain	Dead	t.ms
1	<input checked="" type="checkbox"/>	5	0	0.09	<input type="checkbox"/>	54.4
2	<input type="checkbox"/>	9	0	0.09	<input type="checkbox"/>	*
3	<input checked="" type="checkbox"/>	13	0	0.09	<input type="checkbox"/>	37.7
4	<input checked="" type="checkbox"/>	17	0	0.09	<input type="checkbox"/>	27.4
5	<input checked="" type="checkbox"/>	21	0	0.09	<input type="checkbox"/>	20.5
6	<input checked="" type="checkbox"/>	25	0	0.09	<input type="checkbox"/>	13.7
7	<input type="checkbox"/>	29	0	0.09	<input type="checkbox"/>	*
8	<input checked="" type="checkbox"/>	33	0	0.09	<input type="checkbox"/>	3.4
9	<input checked="" type="checkbox"/>	37	0	0.09	<input type="checkbox"/>	-0.04
10	<input type="checkbox"/>	41	0	0.09	<input type="checkbox"/>	*
11	<input checked="" type="checkbox"/>	45	0	0.09	<input type="checkbox"/>	17.1
12	<input checked="" type="checkbox"/>	49	0	0.09	<input type="checkbox"/>	24.0
13	<input checked="" type="checkbox"/>	53	0	0.09	<input type="checkbox"/>	30.8
14	<input checked="" type="checkbox"/>	57	0	0.09	<input type="checkbox"/>	41.1
15	<input checked="" type="checkbox"/>	61	0	0.09	<input type="checkbox"/>	44.5
16	<input checked="" type="checkbox"/>	65	0	0.09	<input type="checkbox"/>	51.4
17	<input checked="" type="checkbox"/>	69	0	0.09	<input type="checkbox"/>	51.4
18	<input type="checkbox"/>	73	0	0.09	<input type="checkbox"/>	*
19	<input type="checkbox"/>	77	0	0.09	<input type="checkbox"/>	*
20	<input checked="" type="checkbox"/>	81	0	0.09	<input type="checkbox"/>	75.4
21	<input checked="" type="checkbox"/>	85	0	0.09	<input type="checkbox"/>	77.3
22	<input checked="" type="checkbox"/>	89	0	0.09	<input type="checkbox"/>	79.3
23	<input checked="" type="checkbox"/>	93	0	0.09	<input type="checkbox"/>	82.3

Gambar 3. 15 input geometri pada zondST2D

Gambar 3.15 merupakan proses input geometri berupa input jarak shot dan jarak receiver. Setelah input geometri data akan di filter menggunakan filter bandpas dengan  $F_1 = 3$  hz  $F_2=8$  hz  $F_3=15$  hz dan  $F_4=20$  hz. Kemudian hasil filter dilakukan proses *picking firstbreak* dan inversi sehingga diperoleh penampang 2D  $V_p$ .



Gambar 3. 16 *Picking Firstbreak*



Gambar 3. 17 Hasil Inversi  $V_p$

Gambar 3.16 dan 3.17 merupakan step pengolahan dengan software. Gambar 3.16 merupakan proses *picking firstbreak* gelombang  $V_p$  sebagai dasar inversi yang dilakukan pada gambar 3.17 yang menampilkan hasil 2D  $V_p$  pada line 21B.

### 3.4 Perhitungan Parameter Dinamis

Setelah memperoleh nilai  $V_s$  dan  $V_p$  pada tiap lapisan, maka langkah selanjutnya dalam penelitian ini adalah menghitung nilai parameter dinamis yaitu *Poisson ratio*, modulus geser dan modulus elastisitas menggunakan perhitungan empiris. Selain membutuhkan data  $V_p$  dan  $V_s$ , nilai densitas juga

diperlukan dalam perhitungan. Densitas didapatkan dari persamaan berikut ini (Gardner, 1974):

$$\rho = 0.3 Vp^{1/4} \quad (3.1)$$

Nilai  $\rho$  menunjukkan densitas dan  $Vp$  adalah kecepatan gelombang P.

### **3.5 Pemodelan 3D Parameter Dinamis**

Dari nilai parameter dinamis perlapisan yang telah didapatkan pada tiap titik dari hasil perhitungan, kemudian dilakukan pemodelan secara 3D menggunakan software pemodelan 3D dengan data input yaitu koordinat titik, kedalaman perlapisan dan nilai parameter dinamis. Sehingga didapatkan lima model 3D yaitu pemodelan  $Vp$ ,  $Vs$ , *Poisson ratio*, modulus geser dan modulus young. Pemodelan ini dilakukan untuk mengetahui distribusi nilai parameter dinamis serta variasi nilai dalam satu kesatuan.

## BAB IV

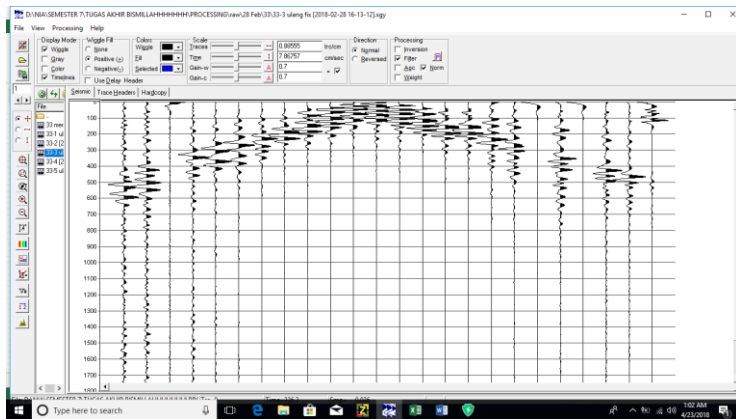
### ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Analisa Data

Telah dilakukan pengukuran data seismik di wilayah Surabaya Barat dengan jumlah 23 titik dimana pada setiap titik terdapat lima *shot*. Titik-titik tersebut melalui dua antiklin yaitu Antiklin Lidah dan Antiklin Guyangan dimana semua titik merepresentasikan kondisi geologi di Surabaya Barat dengan 4 formasi yaitu Aluvium, Lidah, Pucangan dan Kabuh.

Data lapangan yang diperoleh berupa *trace* rekaman seismik dengan parameter berikut ini:

- Jumlah *geophone* : 24 buah
- Spasi *geophone* : 4 meter
- *Stack count* : 3
- *Offset* : 5 meter
- *Record length* : 2 detik
- *Sampling rate* : 0.1 detik



Gambar 4. 1 Contoh *trace* seismik hasil akuisisi

Data *trace* yang didapatkan selanjutnya diolah menggunakan metode MASW untuk mendapatkan nilai  $V_s$  dan metode seismik refraksi untuk mendapatkan nilai  $V_p$ . Sebelum masuk ke dalam pengolahan masing-masing metode, seluruh *trace* seismik dilakukan *filtering* menggunakan *bandpass* menggunakan *software Seissee* dengan  $F_1=4$  Hz,  $F_2=8$  Hz,  $F_3=40$  Hz dan  $F_4=60$  Fz untuk menghilangkan *noise* yang mayoritas berasal dari kendaraan bermotor.

## 4.2 Hasil pengolahan

Pengolahan data seismik dilakukan dengan menggunakan bantuan *software* inversi refraksi untuk metode seismik refraksi dan *software* inversi MASW untuk metode seismik MASW.

### 4.2.1 Hasil Pengolahan MASW

Pengolahan data MASW bertujuan untuk mendapatkan nilai gelombang geser ( $V_s$ ) pada setiap lapisan di masing-masing titik pengukuran. Berikut adalah contoh nilai  $V_s$  per lapisan yang didapatkan pada empat titik dengan formasi yang berbeda:

Tabel 4. 1 Perbedaan hasil MASW berdasarkan jenis geologi

Titik	Formasi	Lapisan	Kedalaman (m)	$V_s$ (m/s)
2	Qa	1	4.36	78.78
		2	13.87	187.22
		3	21.79	281.12
		4	31.71	318.01
		5	45.95	347.34
7	Qpk	1	3.5	181.96
		2	9.25	284.26
		3	17.6	381.81
		4	30.56	469.55
		5	38.07	521.57
16	Qtp	1	7.97	169.03
		2	11.22	195.04
		3	14.86	361
		4	22.74	437.2
		5	37.17	531.54
13	Tpl	1	5	136.04
		2	6.77	298.97
		3	14.35	354.87
		4	22.86	559.29
		5	33.02	603.47

Dari hasil  $V_s$  yang didapatkan, dapat dilihat bahwa urutan rentang nilai  $V_s$  dari yang kecil ke yang besar adalah Qa, Qpk, Qtp, Tpl.



#### 4.2.2 Hasil Pengolahan Seismik Refraksi

Pengolahan data seismik refraksi bertujuan untuk mendapatkan nilai gelombang P ( $V_p$ ) pada setiap lapisan. Pada setiap pengolahan data menggunakan software inversi refraksi dilakukan *picking* pada setiap shot dan dilanjutkan inversi untuk mendapatkan sebaran nilai kecepatan P ( $V_p$ ) terhadap kedalaman di sepanjang lintasan. Dari hasil inversi tersebut, kemudian diambil nilai  $V_p$  per lapisan pada titik tengahnya untuk pengolahan data selanjutnya.

Tabel 4. 2 Perbedaan hasil seismik refraksi berdasarkan jenis geologi

Titik	Formasi	Lapisan	Kedalaman (m)	$V_p$ (m/s)
2	Qa	1	4.36	471
		2	13.87	620
		3	21.79	650
		4	31.71	698
		5	45.95	784
7	Qpk	1	3.5	779
		2	9.25	1231
		3	17.6	1307
		4	30.56	1419
		5	38.07	1456
16	Qtp	1	7.97	742
		2	11.22	898
		3	14.86	1095
		4	18.69	1199
		5	22.74	1212
		6	37.17	1393
19	Tpl	1	5.98	932
		2	8.48	1169
		3	12.01	1374
		4	29.78	1750
		5	44.26	1938

Dari hasil  $V_p$  yang didapatkan, dapat dilihat bahwa urutan rentang nilai  $V_p$  dari yang kecil ke yang besar adalah Qa, Qpk, Qtp, Tpl.

### 4.3 Hasil Perhitungan Nilai Parameter Dinamis

Perhitungan nilai parameter dinamis dilakukan secara teoritis pada setiap titik. Data yang dibutuhkan yaitu nilai  $V_p$  dan  $V_s$  yang didapatkan dari pengolahan data sebelumnya serta nilai densitas yang dihitung menggunakan Persamaan Gardner. Data-data tersebut dilakukan untuk menghitung nilai *poisson ratio*, modulus geser dan modulus elastisitas.

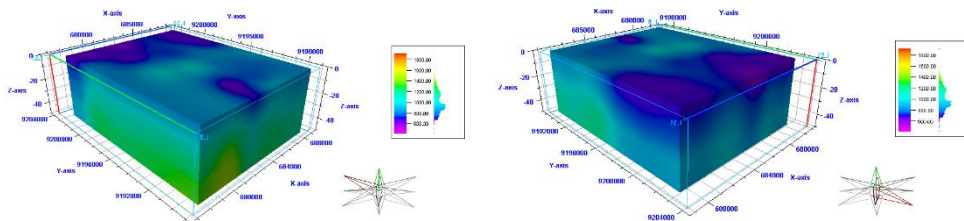
Tabel 4. 3 Perbedaan hasil nilai parameter dinamis berdasarkan jenis geologi

Titik	Formasi	Lapisan	Kedalaman (m)	Poisson ratio	Modulus Geser	Modulus Elastisitas
2	Qa	1	4.36	0.48	8.71	25.77
		2	13.87	0.43	53.26	152.15
		3	21.79	0.35	123.25	331.59
		4	31.71	0.33	160.97	426.98
		5	45.95	0.34	197.41	527.78
7	Qpk	1	3.5	0.46	52.95	154.38
		2	9.25	0.46	144.87	422.71
		3	17.6	0.43	266.67	764.38
		4	30.56	0.41	413.27	1168.03
		5	38.07	0.40	514.63	1437.97
16	Qtp	1	7.97	0.46	45.12	131.74
		2	11.22	0.46	62.97	184.34
		3	14.86	0.41	228.91	647.25
		4	18.69	0.40	316.11	886.66
		5	22.74	0.40	345.52	964.42
		6	37.17	0.38	530.02	1465.22
19	Tpl	1	5.98	0.48	41.94	123.96
		2	8.48	0.47	99.33	291.74
		3	12.01	0.42	343.41	977.17
		4	29.78	0.44	479.96	1380.12
		5	44.26	0.43	678.32	1939.78

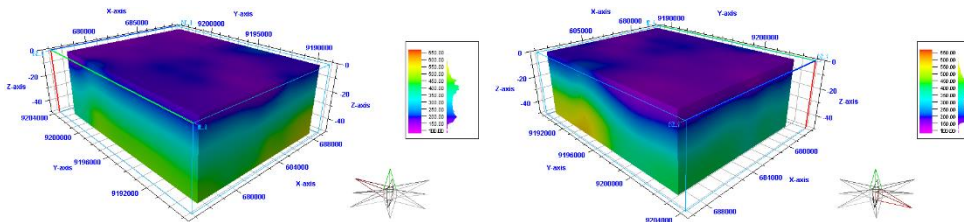
Dari nilai parameter dinamis yang didapatkan, dapat dilihat bahwa urutan rentang nilai dari yang kecil ke yang besar adalah Qa, Qpk, Qtp, Tpl.

# 4.4 Hasil pemodelan

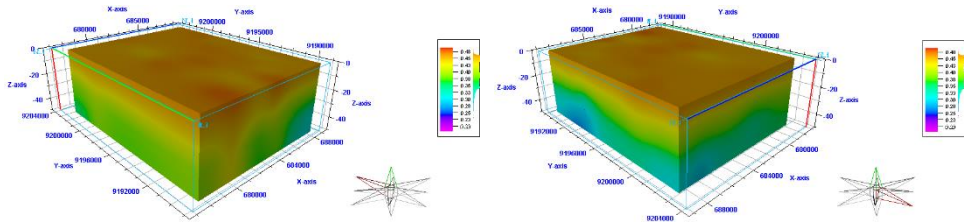
Berikut adalah hasil pemodelan 3D pada tiap parameter dinamis menggunakan *software* pemodelan 3D.



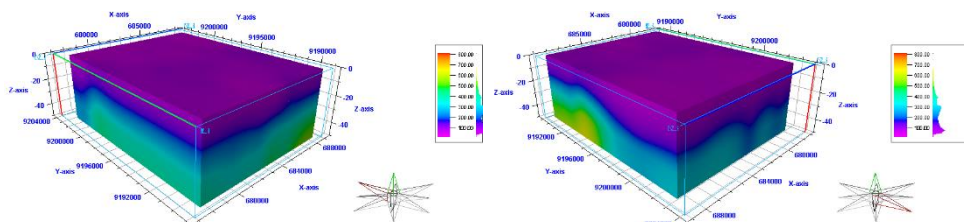
a.  $V_p$



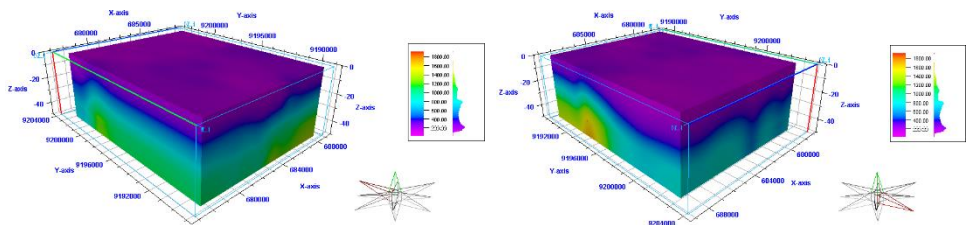
b.  $V_s$



c. *Poisson ratio*



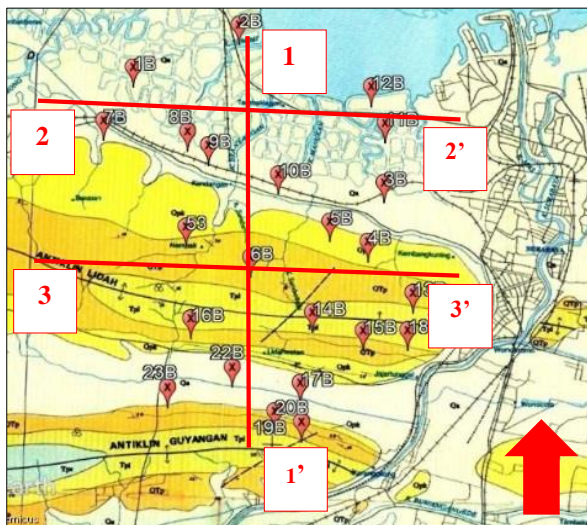
d. Modulus Geser



### e. Modulus Elastisitas

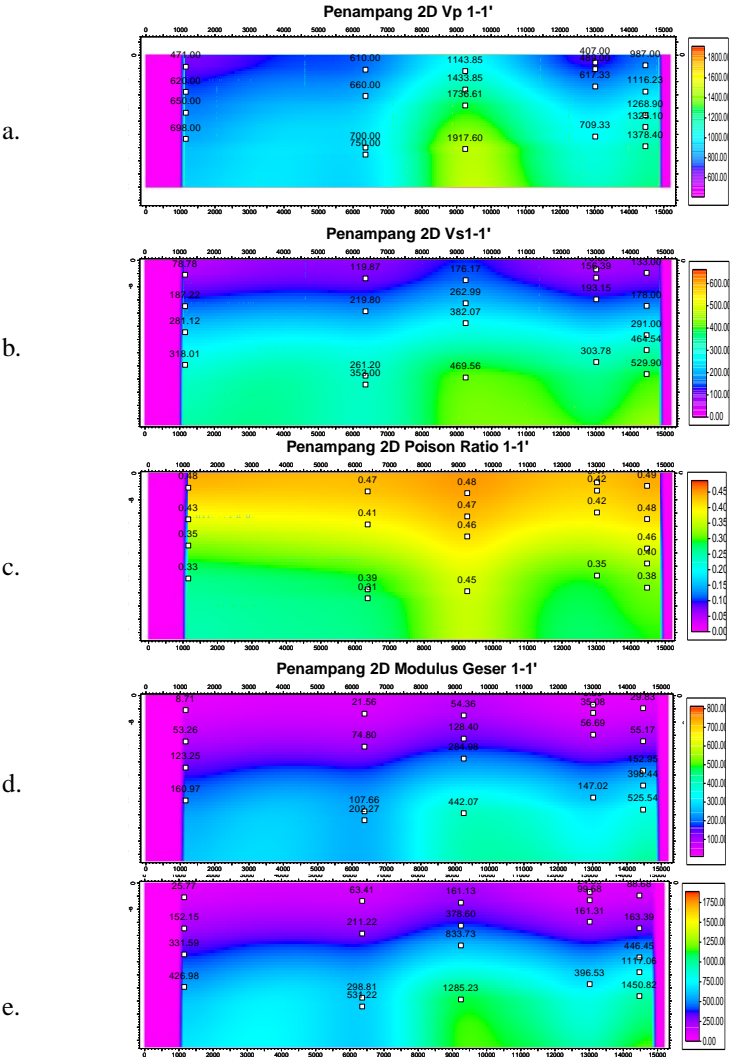
Gambar 4. 2 Hasil pemodelan 3D parameter dinamis arah timur selatan dan utara barat

Dari pemodelan 3D yang telah didapatkan dari masing-masing parameter pada Gambar 4.2, dapat dilihat bahwa terdapat perbedaan nilai yang relatif jauh antara wilayah utara dan selatan daerah penelitian. Hal ini disebabkan karena perbedaan struktur geologi dimana berdasarkan peta geologi Sukardi (1992) di daerah selatan penelitian terdapat antiklin dengan formasi Qpk, Qtp dan Tpl yang tersusun dari dominasi batu pasir dan batu lempung sehingga nilai  $V_p$ ,  $V_s$ , modulus geser dan modulus elastisitas akan semakin tinggi. Sedangkan di daerah utara penelitian tersusun dari formasi Qa yang tersusun dari pasir lepas, kerakal dan lempung hasil pelapukan sehingga nilai  $V_p$ ,  $V_s$ , modulus geser dan modulus elastisitas akan semakin kecil karena tanah yang lebih lunak.



Gambar 4. 3 Basemap crosssection untuk penampang 2D

Selanjutnya, dibuat sayatan pada pemodelan tersebut untuk mengetahui penampang *cross section* sebagai *soil profiling* dengan arah utara-Selatan, barat-Timur pada bagian utara dan barat-Timur pada bagian selatan yang ditunjukkan pada gambar 4.3. Hasil penampang ditunjukkan pada gambar 4.4, gambar 4.5 dan gambar 4.6



Gambar 4. 4 Penampang *crosssection* 1-1'

Gambar 4.4 menunjukkan penampang 2D parameter dinamis yang merupakan hasil sayatan dengan arah utara selatan hingga kedalaman 35 meter yang ditunjukkan pada garis 1-1' (Gambar 4.3).

Gambar 4.4 (a) merupakan persebaran nilai  $V_p$  yang menunjukkan bahwa pada bagian utara daerah penelitian memiliki nilai  $V_p$  yang rendah yaitu antara 471-750 m/s dan di bagian selatan memiliki nilai  $V_p$  yang lebih tinggi yaitu antara 407-1917.6 m/s. Hal ini menunjukkan bahwa pada bagian utara terdiri dari lapisan lunak hingga kedalaman 35 meter. Sedangkan di bagian selatan terlihat adanya tiga daerah yang memiliki nilai kecepatan yang kontras. Daerah pertama pada meter ke 8000-11500 memiliki nilai kecepatan antara 1143.85-1917 m/s yang menunjukkan lapisan keras, sedangkan daerah kedua pada meter ke 11500-14000 memiliki nilai kecepatan antara 407-709.33 m/s yang menunjukkan lapisan lunak dan daerah ketiga pada meter ke 14000-15000 memiliki nilai kecepatan yang tinggi yaitu 987-1378 m/s yang menunjukkan lapisan keras. Daerah pertama dan ketiga pada bagian selatan penelitian memiliki lapisan yang keras karena berada di antiklin lidah dan guangan yang merupakan lapisan yang lebih tua sehingga lebih kompak. Sedangkan bagian utara dan bagian kedua pada daerah selatan penelitian tersusun atas lapisan lunak karena berada pada alluvium yang belum mengalami kompaksi.

Gambar 4.4 (b) merupakan persebaran nilai  $V_s$  yang menunjukkan bahwa dari utara ke selatan nilai  $V_s$  berkisar antara 78.78-529.9 m/s dengan tipe B, C dan D berdasarkan *Eurocode 8* pada tabel 2.2. Pada bagian utara penelitian terdapat dua tipe lapisan. Lapisan atas memiliki nilai 78.78 m/s-119.87 m/s pada kedalaman 0-6 meter yang merupakan endapan tanah yang termasuk tipe D. Sedangkan lapisan bawah memiliki nilai 187.22-353 m/s pada kedalaman 8-35 meter yang merupakan lapisan dengan tipe C. Di bagian selatan menunjukkan nilai  $V_s$  yang lebih tinggi di daerah antiklin lidah dan antiklin guangan, sedangkan daerah di antara dua antiklin memiliki nilai  $V_s$  yang rendah. Di daerah antiklin pada meter ke 8000-11500 dan 14000-15000 memiliki tiga tipe lapisan. Lapisan pertama memiliki nilai 119.87-178 m/s yang termasuk tipe D dengan kedalaman 0-5 meter. Lapisan kedua memiliki nilai 262.99-291 m/s yang termasuk tipe C dengan kedalaman 5-20 meter. Sedangkan lapisan ketiga memiliki nilai 382.07-529.9 m/s yang termasuk tipe B dengan kedalaman 20-35 meter yang merupakan lempung padat. Daerah di antara antiklin pada meter ke 11500-14000 terdiri dari dua tipe lapisan yaitu tipe D dengan nilai 133-156.39 m/s pada kedalaman 0-5 meter yang merupakan endapan tanah dan tipe C dengan nilai 193.15-303.78 m/s pada kedalaman 5-35 meter.

Gambar 4.4 (c) merupakan persebaran nilai *poisson ratio* yang menunjukkan bahwa bagian utara daerah penelitian memiliki rentang nilai yang

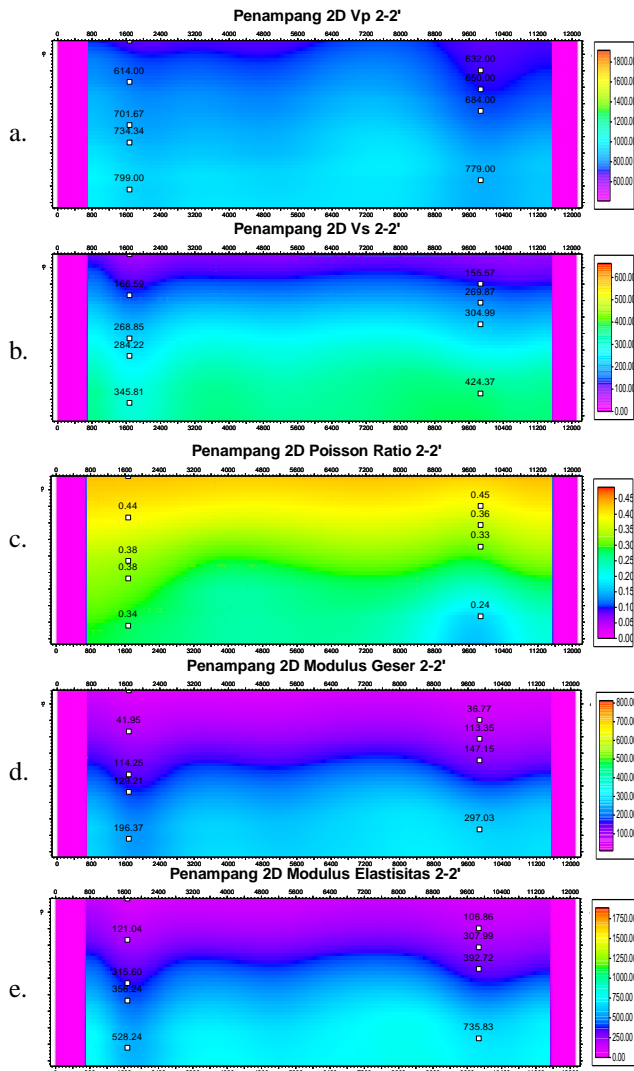
lebih rendah yaitu 0.31-0.48 sedangkan di bagian selatan memiliki rentang nilai yang lebih tinggi yaitu 0.35-0.49. Pada bagian utara terdapat dua perlapisan yaitu lapisan atas dengan kedalaman 0-15 meter memiliki nilai 0.41-0.48 yang menunjukkan bahwa lapisan ini merupakan lapisan jenuh air. Sedangkan lapisan kedua dengan kedalaman 15-35 meter memiliki nilai 0.31-0.35 yang menunjukkan bahwa lapisan ini terdiri dari lapisan yang tidak jenuh air. Sedangkan di bagian selatan terdapat tiga titik dengan perlapisan yang berbedanya. Titik pertama pada meter ke 8000-11000 dengan kedalaman 0-35 meter memiliki nilai 0.45-0.48 yang menunjukkan bahwa lapisan jenuh air. Titik kedua pada meter ke 11000-14000 dengan kedalaman 0-15 meter memiliki nilai 0.42-0.47 menunjukkan bahwa lapisan ini jenuh air, sedangkan pada kedalaman 15-35 meter memiliki nilai 0.35 yang menunjukkan bahwa lapisan ini tidak jenuh air. Titik ketiga pada meter ke 14000-15000 dengan kedalaman 0-24 meter memiliki nilai 0.4-0.49 yang menunjukkan bahwa lapisan ini terdiri dari lapisan jenuh air, sedangkan pada meter 34-35 meter memiliki nilai 0.38 yang menunjukkan bahwa lapisan ini terdiri dari lapisan yang tidak jenuh air (Schön, 2015).

Gambar 4.4 (d) merupakan persebaran nilai modulus geser yang menunjukkan bahwa bagian utara daerah penelitian memiliki rentang nilai yang lebih rendah yaitu 8.71-202.27 Mpa, sedangkan bagian selatan memiliki rentang yang lebih tinggi yaitu 29.83-442.07 Mpa. Terlihat adanya kemenerusan dua lapisan dari utara ke selatan pada penampang. Lapisan pertama di bagian utara dengan kedalaman 0-15 meter memiliki nilai rata-rata 39.58 Mpa, sedangkan lapisan kedua dengan kedalaman 15-35 meter memiliki rata-rata 148.54 Mpa. Pada daerah antiklin di bagian selatan lapisan pertama memiliki kedalaman 0-12 meter dengan rata-rata nilai 46.45 Mpa, sedangkan lapisan kedua memiliki kedalaman 12-35 meter dengan rata-rata 322.063 Mpa. Pada daerah di antara dua antiklin di bagian selatan, lapisan pertama dengan kedalaman 0-12 meter memiliki nilai rata-rata 41.9 Mpa, sedangkan lapisan kedua dengan kedalaman 12-35 meter memiliki rata-rata nilai 147.02 Mpa. Lapisan pertama memiliki nilai yang lebih rendah dari lapisan kedua yang menunjukkan bahwa lapisan kedua lebih kaku (Adewoyin dkk., 2017)

Gambar 4.4 (e) merupakan persebaran nilai modulus elastisitas yang menunjukkan bahwa bagian utara penelitian memiliki rentang nilai yang lebih rendah yaitu 25.77-531.22 Mpa, sedangkan bagian selatan memiliki rentang nilai yang lebih tinggi yaitu 88.08-1450.83 Mpa. Terlihat adanya kemenerusan dua lapisan dari utara ke selatan pada penampang. Lapisan pertama di bagian utara dengan kedalaman 0-15 meter memiliki nilai rata-rata 113.14 Mpa, sedangkan lapisan kedua dengan kedalaman 15-35 meter memiliki rata-rata 397.15 Mpa. Pada daerah antiklin di bagian selatan lapisan pertama memiliki kedalaman 0-12

meter dengan rata-rata nilai 137.73 Mpa, sedangkan lapisan kedua memiliki kedalaman 12-35 meter dengan rata-rata 600.87 Mpa. Pada daerah di antara dua antiklin di bagian selatan, lapisan pertama dengan kedalaman 0-12 meter memiliki nilai rata-rata 73.24 Mpa, sedangkan lapisan kedua dengan kedalaman 12-35 meter memiliki rata-rata nilai 396.53 Mpa. Lapisan pertama memiliki nilai yang lebih rendah dari lapisan kedua yang menunjukkan bahwa lapisan kedua memiliki kekuatan yang lebih besar dari pada lapisan pertama (Adewoyin, 2017)





Gambar 4. 5 Penampang 2D *crosssection* 2-2'

Gambar 4.5 menunjukkan penampang 2D parameter dinamis yang merupakan hasil sayatan dengan barat timur di bagian utara penelitian hingga kedalaman 35 meter yang ditunjukkan pada garis 2-2' (Gambar 4.3).

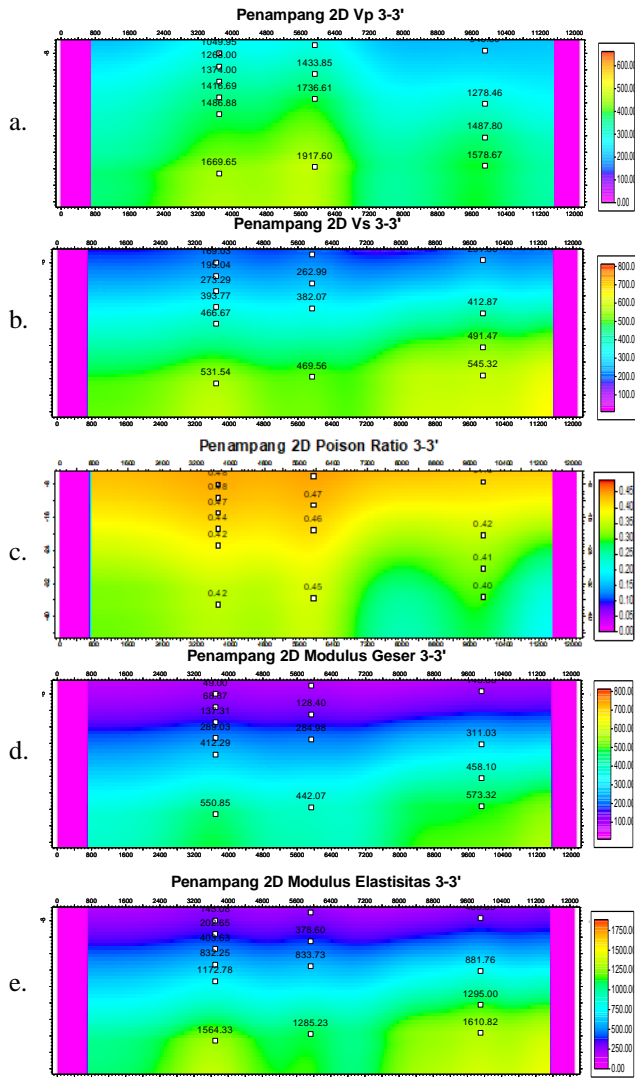
Gambar 4.5 (a) merupakan persebaran nilai  $V_p$  yang menunjukkan bahwa pada bagian barat dan timur hasil sayatan memiliki nilai  $V_p$  yang relatif sama dengan nilai yang rendah yaitu antara 490.33-799 m/s. Hal ini menunjukkan bahwa pada daerah ini terdiri dari lapisan lunak hingga kedalaman 35 meter dan tidak ditemukan adanya lapisan keras.

Gambar 4.5 (b) merupakan persebaran nilai  $V_s$  yang menunjukkan bahwa dari barat ke timur memiliki kemenerusan nilai  $V_s$  yang relatif sama dan berkisar antara 96.01-424.46 m/s dengan tiga lapisan tipe B, C dan D berdasarkan *Eurocode 8* pada table 2.2. Lapisan atas memiliki nilai 96.01 m/s-166.59 m/s pada kedalaman 0-16 meter yang merupakan tanah dengan tipe D. Sedangkan lapisan kedua memiliki nilai 268.22-345.81 m/s pada kedalaman 16-28 meter yang tanah dengan tipe C. Sedangkan lapisan ketiga memiliki nilai sekitar 424.37 m/s yang termasuk tipe B dengan kedalaman 28-35 meter.

Gambar 4.5 (c) merupakan persebaran nilai *poisson ratio* yang menunjukkan bahwa dari barat ke timur memiliki rentang nilai 0.24-0.46. Lapisan pertama dengan kedalaman 0-15 meter memiliki nilai 0.44-0.46 yang menunjukkan lapisan jenuh air. Sedangkan lapisan kedua dengan rentang nilai 0.33-0.38 pada daerah barat memiliki kedalaman 15-35 meter dan pada daerah timur memiliki kedalaman 15-32 meter yang menunjukkan bahwa lapisan ini tidak jenuh air. Di bagian timur terdapat lapisan ketiga dengan kedalaman 32-35 meter yang memiliki nilai 0.24 yang menunjukkan bahwa lapisan ini tidak jenuh air (Schön, 2015).

Gambar 4.5 (d) merupakan persebaran nilai modulus geser yang menunjukkan bahwa daerah ini memiliki kemenerusan nilai yang relatif sama dari barat ke timur yaitu antara 13.77-297.03 Mpa. Terdapat dua lapisan dengan lapisan pertama yang memiliki kedalaman 0-15 meter dengan rata-rata nilai 30.83 Mpa, sedangkan lapisan kedua memiliki kedalaman 15-35 meter dengan rata-rata nilai 166.23 Mpa. Hal ini menunjukkan bahwa lapisan kedua lebih kaku.

Gambar 4.5 (e) merupakan persebaran nilai modulus elastisitas yang menunjukkan bahwa daerah ini memiliki kemenerusan nilai yang relatif sama yaitu antara 40.79-735.83 Mpa. Terdapat dua lapisan dengan lapisan pertama yang memiliki kedalaman 0-15 meter dengan rata-rata nilai 89.56 Mpa, sedangkan lapisan kedua memiliki kedalaman 15-35 meter dengan rata-rata nilai 439.44 Mpa. Hal ini menunjukkan bahwa lapisan kedua memiliki kekuatan yang lebih besar daripada lapisan pertama.



Gambar 4. 6 Penampang 2D *cross section* 3-3'

Gambar 4.6 menunjukkan penampang 2D parameter dinamis yang merupakan hasil sayatan dengan barat ke timur di bagian selatan daerah penelitian dengan kedalaman 35 meter yang ditunjukkan pada garis 3-3' (Gambar 4.3).

Gambar 4.6 (a) merupakan persebaran nilai  $V_p$  yang menunjukkan bahwa pada bagian barat dan timur hasil sayatan memiliki nilai  $V_p$  yang relatif sama dengan nilai yang tinggi yaitu antara 861.23-1917.6 m/s. Hal ini menunjukkan bahwa di kedalaman yang dangkal sudah dapat ditemukan lapisan keras.

Gambar 4.6 (b) merupakan persebaran nilai  $V_s$  yang menunjukkan bahwa dari barat ke timur memiliki kemenerusan nilai  $V_s$  yang relatif sama dan berkisar antara 153.31-545.32 m/s dengan tiga lapisan tipe B, C dan D berdasarkan *Eurocode 8* pada table 2.2. Lapisan atas memiliki nilai sekitar 169.03 m/s pada kedalaman 0-5 meter yang merupakan tanah yang termasuk tipe D. Sedangkan lapisan kedua memiliki nilai 195.04-273.29 m/s pada kedalaman 5-15 meter yang merupakan lapisan yang termasuk tipe C. Sedangkan lapisan ketiga memiliki nilai 382.07-545.32 m/s yang termasuk tipe B dengan kedalaman diatas 15 meter.

Gambar 4.6 (c) merupakan persebaran nilai *poisson ratio* yang menunjukkan bahwa terdapat kemenerusan nilai yang relatif sama dari barat ke timur yang memiliki rentang nilai 0.4-0.48. Hal ini menunjukkan dari kedalaman 0-35 meter terdiri dari lapisan jenuh (Schön, 2015).

Gambar 4.6 (d) merupakan persebaran nilai modulus geser yang menunjukkan bahwa daerah ini memiliki kemenerusan nilai yang relatif sama dari barat ke timur yaitu antara 38.4-573.32 Mpa. Terlihat adanya hasil interpolasi yang berbeda di titik tengah yang di akibatkan perlapisan hasil inversi yang lebih sedikit daripada titik lainnya. Terdapat tiga lapisan dengan lapisan pertama yang memiliki kedalaman 0-8 meter dengan rata-rata nilai 51.92 Mpa, sedangkan lapisan kedua memiliki kedalaman 8-32 meter dengan rata-rata nilai 289.58 Mpa dan lapisan ketiga dengan kedalaman 32-35 meter memiliki rata-rata nilai 562.09 Mpa. Hal ini menunjukkan bahwa lapisan ketiga adalah lapisan yang paling kaku, namun lapisan kedua sudah cukup kompeten untuk dilakukan pembangunan.

Gambar 4.6 (e) merupakan persebaran nilai modulus elastisitas yang menunjukkan bahwa daerah ini memiliki kemenerusan nilai yang relatif sama dari barat ke timur yaitu antara 113.34-1610.82 Mpa. Terdapat tiga lapisan dengan lapisan pertama yang memiliki kedalaman 0-8 meter dengan rata-rata nilai 153.69 Mpa, sedangkan lapisan kedua memiliki kedalaman 8-32 meter dengan rata-rata nilai 701.11 Mpa dan lapisan ketiga dengan kedalaman 32-35

meter memiliki rata-rata nilai 1438.85 Mpa. Hal ini menunjukkan bahwa lapisan ketiga adalah lapisan yang memiliki kekuatan yang paling besar, namun lapisan kedua sudah cukup kuat untuk dilakukan pembangunan.

### 4.3 Analisa Geoteknik

Hasil penelitian menunjukkan bahwa di wilayah Surabaya Barat memiliki lapisan lunak yang cukup tebal dimana semakin ke arah utara, lapisan lunak akan semakin tebal. Hal ini dikonfirmasi pada penelitian sebelumnya bahwa nilai frekuensi natural di Surabaya adalah rendah yang menunjukkan tebalnya lapisan lunak. (Mufida dkk., 2013 dan Bahri dkk., 2016). Tanah lunak adalah tanah yang memiliki kuat geser rendah dan kompresibilitas yang sangat tinggi. Apabila tanah ini tidak diselidiki secara seksama dapat menyebabkan masalah ketidakstabilan dan penurunan jangka panjang yang tidak dapat ditolelir (Braja., 1995). Dari kedalaman 0-35 meter terdiri dari sedimen yang berbeda-beda antara tiap formasi.

Pada daerah aluvium (Qa) yang berada di daerah utara penelitian dan juga di antara dua antiklin memiliki nilai parameter dinamis yang rendah dibandingkan dengan formasi Qpk, Qtp dan Tpl. Di daerah aluvium, belum ditemukan lapisan sedimen yang keras hingga kedalaman 35 meter. Hal ini ditunjukkan dengan nilai  $V_p$  maksimal yang ada bernilai 950 m/s dan berdasarkan nilai  $V_s$  tipe lapisan yang paling bawah adalah tipe C. Menurut Bowles (1991), tanah dan pasir bersifat plastis dan memiliki kohesi yang rendah sehingga sangat mudah terderformasi apabila terjadi gempabumi. Gempabumi memicu gaya dinamik khususnya gaya geser dinamik yang dapat mendeformasi batuan sehingga mengurangi kuat geser dan kekakuan tanah. Hal ini juga ditunjukkan dengan nilai modulus geser dan modulus elastis yang rendah. Oleh sebab itu, pembangunan di area aluvium harus memperhatikan kondisi tanah dan perlakuan yang ekstra seperti pembangunan pondasi yang lebih dalam dan juga dilakukan pemadatan tanah untuk menghindari adanya *settlement* akibat konsolidasi. Tanah yang lepas (renggang) haruslah dipadatkan untuk meningkatkan berat volumenya. Pemadatan tersebut berfungsi untuk meningkatkan kekuatan tanah, sehingga dengan demikian meningkatkan daya dukung pondasi di atasnya (Braja, 1995). Pemadatan juga dapat mengurangi besarnya penurunan tanah yang tidak diinginkan. Perlakuan ini sudah banyak diterapkan saat pembangunan yang terlihat dari banyaknya tanah urukan yang dipakai. Pada hasil penelitian tanah urukan terlihat pada kedalaman 0-6 meter dengan nilai  $V_s$  rendah yang menunjukkan endapan tanah. Namun nilai *poisson ratio* tinggi akibat tanah yang jenuh air karena penelitian dilakukan saat musim hujan.

Di formasi Qpk, Qtp dan Tpl yang berada di area antiklin memiliki nilai parameter dinamis yang lebih tinggi. Di lapisan yang dangkal sudah dapat ditemukan lapisan sedimen yang padat. Hal ini ditunjukkan dengan nilai  $V_p$  yang

tinggi mulai kedalaman 3 meter. Namun nilai  $V_s$  di kedalaman tersebut adalah tipe C. Lapisan dengan tipe B baru ditemukan pada kedalaman 20 meter. Nilai *poisson ratio* menunjukkan anomali karena memiliki nilai antara 0.42-0.48 yang termasuk lapisan yang jenuh air. Hal ini bisa terjadi karena pengukuran dilakukan pada musim hujan dengan curah hujan yang tinggi sehingga tanah memiliki tingkat kejenuhan yang tinggi. Dapat diamati di lapangan bahwa tanah di area ini tersusun atas lempung di permukaan. Dengan nilai *poisson ratio* yang tinggi dapat menunjukkan bahwa lempung di area ini dapat menyimpan air dalam jumlah besar hingga kedalaman 30 meter. Dilihat dari nilai modulus geser dan modulus elastisitas, nilai yang cukup besar berada di kedalaman 15 meter. Sehingga pembangunan pondasi dapat dilakukan hingga kedalaman tersebut. Nilai modulus geser dan modulus elastisitas selanjutnya dapat digunakan untuk menghitung *settlement* karena konsolidasi pada jenis litologi lempung terjadi setelah penurunan segera dengan nilai yang lebih besar dan waktu yang lama . Penelitian di area ini harus dilakukan lebih detail lagi karena kondisi lapisan tanah yang jenuh air bisa jadi merupakan tanah lempung ekspansif yang memerlukan perlakuan khusus pada saat pembangunan pondasi.

## **BAB V**

### **KESIMPULAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

1. Hasil penelitian nilai parameter dinamis didapatkan di wilayah utara dengan nilai rendah yaitu  $V_p$  471-950 m/s,  $V_s$  78.78-465.74 m/s, *poisson ratio* 0.23-0.48, modulus geser 8.71-333.25 Mpa dan modulus elastisitas 25.77-819.96 Mpa Sedangkan di wilayah selatan memiliki nilai tinggi dengan nilai  $V_p$  656.11-2019.08 m/s,  $V_s$  107.85-629.25 m/s, *poisson ratio* 0.37-0.49, modulus geser 17.74-942.8 Mpa dan modulus elastisitas 52.5-2289.83 Mpa
2. Nilai parameter dinamis dan *profiling* tanah yang didapatkan menunjukkan bahwa di wilayah utara tidak ditemukan lapisan keras sehingga untuk melakukan pembangunan harus ada penelitian lanjutan, sedangkan di wilayah selatan lapisan keras ditemukan pada kedalaman 20 meter

#### **5.2 Saran**

1. Dalam proses akuisisi data sebaiknya dilakukan saat musim kemarau untuk mendapatkan data yang lebih bagus karena tanah yang jenuh akan membuat beberapa *geophone* mati
2. *Profiling* tanah yang telah didapatkan akan lebih valid jika dilakukan komparasi dengan data SPT
3. Perlu dilakukan penelitian menggunakan data bor dan uji lab pada wilayah antiklin dengan tanah ekspansif karena pada penelitian ini tidak dapat menganalisa jenis tanah tersebut.

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***



## DAFTAR PUSTAKA

- Abubakar, M., Asrillah., Fachrianta, T. R., 2015. Seismic Refraction Tomography (STR) Study to Characterize Potential Resource of ie Jue,s Geothermal Field of Seulawah Agam Volcano, Aceh Besar-Indonesia. Jurnal Electronic Journal of Geotechnical Engineering (EJGE), Vol. 20, Bund. 24.
- Adewoyin, O.O., Joshua, E.O., Akinwumi, I.I., Omeje, M., Department of Physics, College of Science and Technology, Covenant University, P.M.B. 1023, Ota, Ogun State, Nigeria, Joel, E.S., 2017. Evaluation of Geotechnical Parameters using Geophysical Data. J. Eng. Technol. Sci. 49, 95–113. <https://doi.org/10.5614/j.eng.technol.sci.2017.49.1.6>
- Asrurifak, M., Irsyam,M., Hutapea, B.M., Ridwan, M., Pramatatya, A.V. dan Dharmawansyah, D., 2013. Pengembangan peta klasifikasi tanah dan kedalaman batuan dasar untuk menunjang pembuatan peta mikrozonasi Jakarta dengan menggunakan mikrotremor array, 17th Annual Scientific Meeting Jakarta, 13-14 November 2013.
- Bahri, A.S., Utama, W., Aini, D.N. dan Lutfie, M.N., 2016. Valuation of Building strength against earthquake Vibrations using Microtremor Analysis (case study: The city of Surabaya), IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Vol.29, No.1. <http://doi.org/10.1088/1755-1315/29/1/012018>.
- Bowles, J. E., 1982, Foundation Analysis and Design, Terjemahan oleh Pantur Silaban. Jilid I,Penerbit Erlangga, Jakarta
- Brown, A.R., 2005. Understanding Seismic Attribute, Geophysics, vol 66, No1, P.47-48.
- Building Seismic Safety Council., 1998. 1997 Edition NEHRP Recommended Provisions for the Development of Seismic Regulations for New Buildings, FEMA 302/303. Washington DC
- CEN., 1998. Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance — Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings, Diambil dari <http://files.isec.pt/DOCUMENTOS/SERVICOS/BIBLIO/Documentos de acesso remoto/Eurocode-8-1-Earthquakes-general.pdf>.
- Das, Braja M., 1995. Mekanika Tanah Prinsip – prinsip Rekayasa Geoteknis, jilid 2, terjemahan Noor Endah Mochtar, Ir, M.Sc, Ph.D dan Indra Surya

B. Mochtar, Ir, M.Sc, Ph.d. Principle of Geotechnical Engineering.  
Penerbit erlangga, Jakarta

Davidovici, V., 1985. Genie Parasismique.

Gardner, G.H., Gardner, L. dan Gregory, A., 1974. Formation Velocity and Density The Diagnostic Basics For Stratigraphic Traps, Vol.39, No.6, hal. 770–780.

Gorstein, M., Ezersky, M., 2015. Combination of HVSr and MASW Methods to Obtain Shear Wave Velocity Model of Subsurface in Israel. Int. J. Georesources Environ. - IJGE Former. Intl J Geohazards Environ. 1, 1(1):20-41. <https://doi.org/10.15273/ijge.2015.01.004>

Kiswarasari, P., 2013. Aplikasi Metode Seismik Refraksi Untuk Mendeteksi Potensi Longsor di Desa Deliksasi Kecamatan Gunungpati Semarang. Skripsi. Jursan Fisika, FMIPA, Universitas Negeri Semarang.

Mufida, A., Santosa, B.J. dan Warnana, D.D., 2013. Profiling Kecepatan Gelombang Geser (Vs) Surabaya Berdasarkan Pengolahan Data Mikrotremor, Vol.2, No.2.

Munadi, S., 1993. AVO dan Eksplorasi Gas. Lembara publikasi LEMIGAS. No.1.

Nakamura, Y., 1989. A Method for Dynamic Characteristics Estimation of Subsurface Using Microtremor on The Ground Surface. Railw. Tech. Res. Inst. Q. Rep. 30.

Nurdiyanto, B., Hartanto, E., Ngadmanto, D., Sunardi, B., Susilanto, P., 2011. Penentuan Tingkat Kekerasan Batuan Menggunakan Metode Seismik Refraksi. Jurnal Meteorologi dan Geofisika Volume. 12 Nomor. 3. Hal : 211-220

Pegah, E., Liu, H., 2016. Application of near-surface seismic refraction tomography and multichannel analysis of surface waves for geotechnical site characterizations: A case study. Eng. Geol. 208, 100–113. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2016.04.021>

Pusgen dan PUPR, K., 2017. Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2017, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.

- Rucker, M.L., 2000. Applying the seismic refraction technique to exploration for transportation facilities; 1<sup>st</sup>
- Rusdy, I., Djamaluddin, K., Fatimah, E., Syafrizal, S. dan Andika, F., 2016. Studi Awal: Analisa Kecepatan Gelombang Geser (Vs) Pada Cekungan Takengon Dalam Upaya Mitigasi Gempa Bumi. Jurnal Teknik Sipil, 6(1), 1-12.
- Schön, J.H., 2015. Physical Properties of Rocks: Fundamentals and Principles of Petrophysics. Elsevier.
- Setiawan, B., 2008. Pemetaan Tingkat Kekerasan Batuan Menggunakan Metode Seismik Refraksi. Skripsi. Depok : Universitas Indonesia.
- Sismanto., 1999. Eksplorasi Dengan Menggunakan Seismik Refraksi, UGM, Yogyakarta
- Soebowo E, Sarah D, Tohari A., 2009. Geologi bawah permukaan kaitannya dengan potensi likuifaksi di daerah Bengkulu. Majalah Geologi Indonesia Vol.24. No.2, Agustus 2009, hal 65 – 128, ISSN 0216 – 1061.
- Solihan, Ahmad dan Santosa, Bagus Jaya., 2009. Analisis Dispersi Gelombang Rayleigh Struktur Geologi Bawah Permukaan. Studi Kasus : Daerah pasir putih dalegan Gresik. Prosiding Seminar Nasional I\X Pasca Sarjana – 2009, FIS – 01.
- Sudarmoyo, Herianto, R. Harsawan, B., 2001. Hubungan Antara Poisson's Ratio Dengan Porositas Dan Densitas Batuan Pasir Pada Lapangan Minyak, Proceeding Simposium Nasional Iatmi, IATMI 2001-65
- Sukardi., 1992. Geologi Lembar Surabaya dan Sapulu, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- Telford, M.W., L.P. Geldart, R.E. Sheriff, & D.A. Keys., 1976. Applied Geophysics. New York: Cambridge University Press.
- Turcotte, D.L., and Schubert, G., 1982. Geodynamics: Applications of Continuum Physics to Geological Problems, John Wiley & Sons Inc., New York.
- Wathlet, M., Jongmans, D., and Ohrnberger., 2004. Surface-wave inversion using a direct search algorithm and its application to ambient vibration

measurements. European Association of Geoscientists & Engineers, 2004, 2, 211-221

Xia, J., Miller, R.D. dan Park, C.B., 1999. Estimation of near-surface shearwave velocity by inversion of Rayleigh waves, Vol.64, No.3, hal. 691– 700.

Xia, J., Miller, R.D., Park, C.B., Tian, G., 2003. Inversion of high frequency surface waves with fundamental and higher modes. J. Appl. Geophys. 52, 45–57. [https://doi.org/10.1016/S0926-9851\(02\)00239-2](https://doi.org/10.1016/S0926-9851(02)00239-2)

<http://web.ics.purdue.edu/~braile/edumod/slinky/slinky.htm>, diakses pada tanggal 23 Desember 2017 puku 16:03

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***

## LAMPIRAN

### Lampiran 1. Hasil Perhitungan Nilai Parameter Dinamis

Titik	Latitude	Longitude	Kedalaman (m)	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Poisson Ratio	Densitas (Kg/m <sup>3</sup> )	Modulus Geser (Mpa)	Modulus Elastis (Mpa)
1	678656.71	9201357.46	4.71	107.96	490.33	0.46	1411.70	16.59	48.52
	678656.71	9201357.46	14.71	166.59	614.00	0.44	1493.36	41.95	121.04
	678656.71	9201357.46	25.19	268.85	701.67	0.38	1544.03	114.25	315.60
	678656.71	9201357.46	29.43	284.22	734.34	0.38	1561.69	129.21	356.24
	678656.71	9201357.46	40.85	345.81	799.00	0.34	1594.99	196.37	528.24
2	682238.34	9202930.93	4.36	78.78	471.00	0.48	1397.58	8.71	25.77
	682238.34	9202930.93	13.87	187.22	620.00	0.43	1496.99	53.26	152.15
	682238.34	9202930.93	21.79	281.12	650.00	0.35	1514.78	123.25	331.59
	682238.34	9202930.93	31.71	318.01	698.00	0.33	1542.00	160.97	426.98
3	687379.85	9197515.68	6.42	120.65	507.00	0.46	1423.55	20.92	60.92
	687379.85	9197515.68	16.42	207.80	631.00	0.41	1503.59	66.08	186.88

	687379.85	9197515.68	23.6	276.86	686.00	0.37	1535.33	120.76	330.16
	687379.85	9197515.68	37.67	332.80	765.00	0.34	1577.74	179.96	483.44
4	686889.04	9195468.90	2.72	153.31	861.23	0.48	1625.18	38.40	113.34
	686889.04	9195468.90	7.35	291.50	948.80	0.43	1665.00	143.68	409.69
	686889.04	9195468.90	20.23	412.87	1278.46	0.42	1793.88	311.03	881.76
	686889.04	9195468.90	28.44	491.47	1487.80	0.41	1863.19	458.10	1295.00
	686889.04	9195468.90	35.26	545.32	1578.67	0.40	1891.01	573.32	1610.82
5	685569.06	9196130.76	3.49	131.02	861.23	0.48	1625.18	28.01	83.03
	685569.06	9196130.76	11.96	226.60	948.80	0.46	1665.00	86.30	251.31
	685569.06	9196130.76	18.97	467.43	1278.46	0.39	1793.88	400.47	1115.36
	685569.06	9196130.76	32.47	536.87	1387.86	0.38	1831.08	540.53	1490.44
6	682912.07	9194835.54	5.99	176.17	1143.85	0.48	1744.67	54.36	161.13
	682912.07	9194835.54	13	262.99	1433.85	0.47	1846.07	128.40	378.60
	682912.07	9194835.54	19.05	382.07	1736.61	0.46	1936.63	284.98	833.73
	682912.07	9194835.54	35.54	469.56	1917.60	0.45	1985.23	442.07	1285.23
7	677714.44	9199467.84	3.5	181.96	778.76	0.46	1584.79	52.95	154.38
	677714.44	9199467.84	9.25	284.26	1231.33	0.46	1777.11	144.87	422.71

	677714.44	9199467.84	17.6	381.81	1307.22	0.43	1803.88	266.67	764.38
	677714.44	9199467.84	30.56	469.55	1419.25	0.41	1841.35	413.27	1168.03
	677714.44	9199467.84	38.07	521.57	1455.50	0.40	1853.00	514.63	1437.97
8	680608.02	9199147.89	5.79	121.40	587.00	0.47	1476.66	21.92	64.32
	680608.02	9199147.89	8.29	155.32	642.00	0.45	1510.10	36.78	107.03
	680608.02	9199147.89	22.05	333.22	693.00	0.30	1539.23	176.90	461.33
	680608.02	9199147.89	32.74	402.71	834.00	0.30	1612.18	270.68	704.87
9	681343.20	9198686.23	5.94	132.67	612.00	0.46	1492.14	26.47	77.50
	681343.20	9198686.23	9.46	169.20	632.00	0.44	1504.18	43.57	125.86
	681343.20	9198686.23	12.96	229.86	649.00	0.40	1514.20	81.64	228.54
	681343.20	9198686.23	18.15	301.65	690.00	0.34	1537.57	144.11	386.66
	681343.20	9198686.23	32.82	410.22	865.00	0.31	1626.95	283.18	741.91
10	683761.96	9197724.47	5.47	119.87	610.00	0.47	1490.92	21.56	63.41
	683761.96	9197724.47	15.43	219.80	660.00	0.41	1520.57	74.80	211.22
	683761.96	9197724.47	34.99	261.20	700.00	0.39	1543.11	107.66	298.81
	683761.96	9197724.47	37.67	353.00	750.00	0.31	1569.95	202.27	531.22
11	687360.01	9199593.12	5.17	91.48	621.00	0.48	1497.59	12.58	37.32



	687360.01	9199593.12	9.03	124.11	659.00	0.47	1520.00	23.55	69.38
	687360.01	9199593.12	17	185.43	670.00	0.44	1526.30	53.15	153.09
	687360.01	9199593.12	20.88	224.07	697.00	0.42	1541.45	78.71	223.26
	687360.01	9199593.12	36.87	351.22	844.00	0.36	1616.99	204.97	556.62
12	686850.00	9200859.00	3.37	96.01	605.00	0.48	1487.85	13.77	40.79
	686850.00	9200859.00	11.91	155.57	632.00	0.45	1504.18	36.77	106.86
	686850.00	9200859.00	16.52	269.87	650.00	0.36	1514.78	113.35	307.99
	686850.00	9200859.00	21.76	304.99	684.00	0.33	1534.21	147.15	392.72
	686850.00	9200859.00	38.58	424.37	779.00	0.24	1584.91	297.03	735.83
13	688458.95	9193740.26	5	136.04	942.62	0.48	1662.28	30.87	91.64
	688458.95	9193740.26	6.77	298.97	1053.60	0.44	1709.19	154.81	444.94
	688458.95	9193740.26	14.35	354.87	1086.33	0.42	1722.31	220.70	624.78
	688458.95	9193740.26	22.86	559.29	1115.33	0.28	1733.69	562.47	1444.75
	688458.95	9193740.26	33.02	603.47	1139.67	0.26	1743.07	659.95	1657.02
	688458.95	9193740.26	38.11	637.68	1223.92	0.26	1774.43	749.66	1895.79
14	685069.68	9192997.23	3.72	88.68	757.37	0.49	1573.80	12.40	36.96
	685069.68	9192997.23	12.34	153.32	808.83	0.47	1599.87	37.83	111.42

	685069.68	9192997.23	17.03	452.02	878.52	0.27	1633.27	346.53	880.99
	685069.68	9192997.23	26.15	467.83	981.19	0.31	1679.03	380.20	994.32
	685069.68	9192997.23	35.17	669.94	1130.35	0.18	1739.50	813.03	1919.42
15	686808.55	9192410.10	7.19	107.85	656.61	0.48	1518.62	17.74	52.50
	686808.55	9192410.10	12.44	326.03	835.90	0.38	1613.10	175.67	483.63
	686808.55	9192410.10	24.16	436.23	1150.29	0.38	1747.12	340.22	941.57
	686808.55	9192410.10	35.48	568.55	1302.28	0.34	1802.18	600.03	1610.47
16	680923.00	9192683.00	7.97	169.03	741.59	0.46	1565.53	45.12	131.74
	680923.00	9192683.00	11.22	195.04	898.28	0.46	1642.38	62.97	184.34
	680923.00	9192683.00	14.86	273.29	1094.89	0.45	1725.69	130.22	378.10
	680923.00	9192683.00	18.69	393.77	1358.62	0.43	1821.36	286.33	821.33
	680923.00	9192683.00	22.74	466.67	1446.96	0.42	1850.27	409.85	1162.08
	680923.00	9192683.00	37.17	531.54	1393.00	0.38	1832.77	530.024	1465.22
17	684734.96	9190587.49	6.96	112.59	411.25	0.44	1350.98	17.34	49.99
	684734.96	9190587.49	18.92	238.84	523.36	0.33	1434.90	84.50	224.03
	684734.96	9190587.49	24.16	293.10	629.81	0.32	1502.88	133.41	351.63
	684734.96	9190587.49	32.08	307.43	689.52	0.33	1537.30	149.81	399.83

18	688312.39	9192459.73	12	162.27	887.72	0.47	1637.53	43.36	127.87
	688312.39	9192459.73	22.45	323.29	958.39	0.41	1669.19	177.71	500.97
	688312.39	9192459.73	25.45	427.70	981.33	0.34	1679.10	316.34	849.43
	688312.39	9192459.73	34.51	568.89	1024.97	0.23	1697.46	571.97	1403.49
19	684820.23	9189271.08	5.98	158.67	932.32	0.48	1657.72	41.94	123.96
	684820.23	9189271.08	8.48	237.14	1169.44	0.47	1754.35	99.33	291.74
	684820.23	9189271.08	12.01	430.14	1374.29	0.42	1826.59	343.41	977.17
	684820.23	9189271.08	29.78	494.09	1750.35	0.44	1940.45	479.96	1380.12
20	683910.56	9189615.47	3.8	133.00	987.00	0.49	1681.51	29.83	88.68
	683910.56	9189615.47	13.8	178.00	1116.23	0.48	1734.04	55.17	163.39
	683910.56	9189615.47	22.69	291.00	1268.90	0.46	1790.52	152.95	446.45
	683910.56	9189615.47	27.19	464.54	1325.10	0.40	1810.02	398.44	1117.06
	683910.56	9189615.47	34.49	529.90	1378.40	0.38	1827.95	525.54	1450.82
21	680677.68	9195844.55	7.97	169.03	1049.95	0.48	1707.71	49.00	145.08
	680677.68	9195844.55	11.22	195.04	1268.00	0.48	1790.20	68.37	202.65
	680677.68	9195844.55	14.86	273.29	1374.00	0.47	1826.49	137.31	403.63
	680677.68	9195844.55	18.69	393.77	1416.69	0.44	1840.52	289.03	832.25

	680677.68	9195844.55	22.74	466.67	1486.88	0.42	1862.90	412.29	1172.78
	680677.68	9195844.55	37.17	531.54	1669.65	0.42	1917.69	550.85	1564.33
22	682419.73	9191067.92	2.74	78.66	407.00	0.47	1347.47	8.39	24.69
	682419.73	9191067.92	5.24	156.39	489.00	0.42	1410.74	35.08	99.58
	682419.73	9191067.92	11.82	193.15	617.33	0.42	1495.38	56.69	161.31
	682419.73	9191067.92	30.83	303.78	709.33	0.35	1548.22	147.02	396.53
23	680262.03	9190338.51	4.78	119.44	879.60	0.49	1633.78	23.38	69.48
	680262.03	9190338.51	16.49	320.80	1340.20	0.46	1815.15	188.58	549.05
	680262.03	9190338.51	25.46	324.87	1498.39	0.46	1866.50	198.53	581.26
	680262.03	9190338.51	37.46	411.72	1598.43	0.45	1896.90	325.09	941.80

## Lampiran 2. Dokumentasi



Gambar 1. Persiapan Akuisisi Data



Gambar 2. Kondisi tanah yang jenuh

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***

## BIOGRAFI PENULIS



Husnia Nur Annisa lahir di Malang, 3 April 1997 merupakan anak kedua dari tiga (3) bersaudara pasangan Bapak Mardi Wiyono (Alm) dan Ibu Emi Sundari Hidayati. Penulis menempuh pendidikan di MIN 1 Malang (2003 – 2009), SMPN 3 Malang (2009 – 2011) dan SMAN 3 Malang (2011 – 2014) dan pada tahun 2014 penulis resmi menjadi mahasiswa Teknik Geofisika Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Selama menempuh pendidikan S1, penulis aktif dalam beberapa organisasi antara lain di Himpunan Mahasiswa Teknik Geofisika ITS (HMTG ITS) sebagai staff Hubungan Luar periode 2015 – 2016 dan Bendahara periode 2016 – 2017, Badan Eksekutif Mahasiswa FTSP sebagai staff Sosial masyarakat periode 2015-2016, Al-Ardh sebagai Ketua Badan Usaha Milik Lembaga (BUML) periode 2016-2017, dan juga Paguyuban Karya Salemba Empat (KSE) sebagai ketua Hubungan Luar periode 2017-2018. Penulis juga mengambil peran dalam kepanitiaan di beberapa kegiatan baik tingkat departemen, fakultas maupun institute.

Pengalaman lain yang penulis dapatkan yaitu Kerja Praktik di Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) Pusat pada bulan Agustus 2017 dan pernah menjadi *presenter paper* 6<sup>th</sup> ITB International Geothermal Workshop di ITB dengan judul *Study of Rock Microstructure Based On SEM-EDX and XRD Characterization to Evaluate Arjuno-Welirang Geothermal Potential*. Selain itu penulis juga mempublikasikan *paper* yang berjudul “Analisa Anomali Elektromagnetik Sebagai Prekursor Gempa Bumi di Wilayah Pelabuhan Ratu dengan Metode Median Absolute Deviation sebagai Pendekatan Statistik Pendukung” pada Jurnal Riset Geofisika Indonesia BMKG 2017. Penulis juga berkesempatan untuk terpilih

menjadi peserta Studi Ekskursi ke Singapura yang diadakan oleh *International Office ITS*.

Apabila ingin berdiskusi lebih lanjut terkait Tugas Akhir dapat menghubungi penulis melalui alamat E-mail [husniana03@gmail.com](mailto:husniana03@gmail.com). Sekian dan Terimakasih.



